
MBL/WHOI
0 0301 0004437 6

ŒUVRES

DE

PASTEUR

ŒUVRES

DE

PASTEUR

RÉUNIES

PAR

PASTEUR VALLERY-RADOT
MÉDECIN DES HÔPITAUX DE PARIS

TOME II

FERMENTATIONS
ET GÉNÉRATIONS DITES SPONTANÉES

PARIS
MASSON ET Cie, ÉDITEURS
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1922

Nous avons reproduit intégralement le texte de Pasteur. Cependant des ponctuations et des fautes typographiques ont été rectifiées. Quand une faute de cet ordre a déterminé une correction importante du texte, nous avons mentionné en note la correction que nous avons dû faire subir au texte.

Les [ ] qui entourent certains mots indiquent que ces mots ne figurent pas dans le texte original.

Les indications bibliographiques ont été vérifiées ; un grand nombre ont été rectifiées ou complétées.

Les notes suivies de ces mots : *Note de l'Édition* sont celles que nous avons ajoutées au texte. Les notes qui ne sont accompagnées d'aucune mention sont celles du texte original.

Parfois un même mémoire fut publié par Pasteur dans divers bulletins avec des variantes. Nous avons, soit reproduit les différents textes, soit mentionné en notes les variantes.

INTRODUCTION

DU TOME II

L'œuvre de Pasteur est tout unité. « Entraîné, enchaîné devrais-je dire, par une logique presque inflexible de mes études j'ai passé, écrivait-il en 1883, des recherches de cristallographie et de chimie moléculaire à l'étude des ferments. »

Pasteur fut conduit aux recherches sur la fermentation en étudiant en 1855 l'alcool amylique.

Les deux alcools distincts dont est constitué l'alcool amylique brut, l'un actif, l'autre inactif sur la lumière polarisée, s'offrirent à lui comme la première exception qu'il eût jusqu'alors observée à la loi de corrélation de l'hémiédrie et du phénomène rotatoire moléculaire. Il voulut déceler leur véritable origine. Ces alcools prenant naissance dans l'opération de la fermentation, il fut amené à étudier l'influence du ferment dans leur production. Peut-être, pensait Pasteur, le ferment intervient-il dans la constitution moléculaire des corps issus de la fermentation. Par ses recherches antérieures il était tout à la pensée de la corrélation entre la dissymétrie moléculaire et la vie. N'y aurait-il pas, dans la fermentation, participation d'un acte vital ? D'emblée, son travail s'agrandit et « dévia de sa première direction », car, au delà du fait particulier des alcools amyliques, il avait reconnu l'importance considérable qu'il y aurait à dégager la véritable nature des phénomènes de fermentation.

Ainsi, par la suite logique de ses études antérieures, Pasteur fut amené à l'étude des ferments. Il était alors doyen de la Faculté des sciences de Lille. Le souci du service à rendre aux industriels du nord de la France l'engagea plus avant encore dans cette voie.

En 1856, il consacra son cours de chimie appliquée à « l'industrie des alcools de betteraves ». C'est durant l'automne de cette année qu'un industriel de Lille, M. Bigo, lui demanda de venir dans son usine étudier la cause des fermentations défectueuses. Dès novembre,

comme en témoignent ses cahiers d'expériences, Pasteur y entreprit des recherches sur la fermentation alcoolique. A partir d'avril 1857, il s'occupa à la fois des fermentations lactique et alcoolique et de celle de l'acide tartrique.

Son premier mémoire, lu le 3 août 1857 devant la Société des sciences de Lille, fut consacré à la fermentation lactique. Ce mémoire est annonciateur de la doctrine nouvelle : les fermentations sont corrélatives d'un acte vital; Pasteur le proclame avec cet enthousiasme contenu qui anime toutes ses notes scientifiques. Sa méthode d'expérimentation est créée, il s'y soumettra désormais sans un fléchissement pendant les trente années qui vont suivre. Mais, dans ce mémoire, sa pensée est dominée par ses travaux antérieurs sur la dissymétrie moléculaire ; il ne veut pas que ses études sur les fermentations, qui déjà l'entraînent vers un monde nouveau, l'éloignent de ses recherches de cristallographie. « J'espère, dit-il, pouvoir ultérieurement mettre en rapport les phénomènes de la fermentation et le caractère de dissymétrie moléculaire propre aux substances organiques. » Il ne tardera pas. Quelques jours après, le 27 août 1857, il met en train l'expérience qui va démontrer qu'en faisant fermenter le racémate d'ammoniaque, le tartrate gauche apparaît, le droit se décompose. Avec un corps inactif, la dissymétrie peut se manifester, « parce que le petit ferment est un corps vivant formé, comme tous les grands êtres, d'un ensemble de produits dissymétriques et que, pour sa nutrition, ce petit être s'accommode mieux du groupe tartrique droit que du groupe tartrique gauche ». Le 30 novembre, dans le mémoire sur la fermentation lactique lu à l'Académie des sciences, Pasteur fait prévoir qu'il présentera ultérieurement à l'Académie « des observations qui offriront une liaison inattendue entre les phénomènes de la fermentation et le caractère de dissymétrie moléculaire propre aux substances organiques naturelles ». Le 21 décembre, à la fin d'un mémoire sur la fermentation alcoolique, il annonce en quelques mots cette découverte du dédoublement de l'acide racémique par la fermentation. Mais ce n'est que le 29 mars 1858, après plusieurs expériences confirmatives, qu'il publie le mémoire sur la fermentation de l'acide tartrique et de l'acide racémique. Ce mémoire établit le lien le plus étroit entre ses travaux sur la cristallographie et ceux sur la fermentation.

Ainsi s'enchaînent les deux premières étapes de l'œuvre pastorienne : dissymétrie moléculaire et fermentations.

De 1857 à 1863 se succédèrent les notes et les mémoires sur les fermentations lactique, alcoolique, butyrique, sur la fermentation de

l'acide tartrique, sur la putréfaction, sur la vie sans air... Dans la première partie de ce volume, nous avons réuni ces travaux en conservant l'ordre chronologique de leur publication pour qu'à la lecture ne fût pas rompu l'enchaînement des expériences et des idées de Pasteur [1].

Dès février 1859, il est amené à se demander d'où proviennent ces ferments organisés. L'expérience semble montrer qu'ils prennent naissance par le fait du contact des matières albuminoïdes et de l'oxygène de l'air. « Dès lors, de deux choses l'une, écrira Pasteur plus tard : ces ferments organisés étaient des générations spontanées, si l'oxygène seul, en tant qu'oxygène, leur donnait naissance par son contact avec les matières organisées; ou bien ces ferments organisés n'étaient pas des générations spontanées, et alors ce n'était pas en tant qu'oxygène seul que ce gaz agissait, mais comme excitant d'un germe apporté en même temps que lui ou existant dans les matières. Voilà comment il était indispensable, au point où je me trouvais de mes études sur les fermentations, que je résolusse, s'il était possible, la question des générations spontanées. » Ces recherches « n'ont été, dit-il, qu'une digression, mais une digression obligée de mes travaux sur les fermentations ».

Les notes à l'Académie des sciences, le mémoire et les leçons sur les générations dites spontanées, les discussions avec Pouchet, qui s'échelonnent de 1860 à 1866, ont été réunis dans la deuxième partie de ce volume.

Les travaux sur les fermentations furent interrompus de 1866 à 1870 par l'étude de la maladie des vers à soie. Pasteur les reprit en 1871. Par d'ardentes controverses avec ses contradicteurs, par des recherches nouvelles, il défendit et confirma de 1871 à 1879 ses expériences antérieures sur la fermentation et l'origine des ferments. Les mémoires de cette époque et les discussions avec Fremy et Trécul, avec Bastian constituent la troisième partie [2].

(1) Les études sur la fermentation acétique et le vinaigre, les études sur le vin constitueront le tome III des Œuvres de Pasteur : « Études sur le vinaigre et sur le vin ».

(2) Dans le tome V des Œuvres de Pasteur : « Études sur la bière », on trouvera la communication de 1873 sur la maladie de la bière et sur un nouveau procédé de fabrication pour la rendre inaltérable, ainsi que l'ouvrage publié en 1876 sous le titre : « Etudes sur la bière, ses maladies, causes qui les provoquent, procédé pour la rendre inaltérable, avec une théorie nouvelle de la fermentation ».

Dans le tome VI : « Maladies virulentes », seront placées les notes sur la fermentation de l'urine et les discussions qui s'élevèrent à l'Académie de médecine sur la fermentation et les générations dites spontanées à propos de la présence des vibrions dans le pus des abcès.

La dernière partie est consacrée à l' « Examen critique d'un écrit posthume de Claude Bernard sur la fermentation », opuscule publié en 1879.

A la lecture des pages de ce volume, on reste confondu devant la puissance d'induction et de déduction qui est le propre du génie de Pasteur. Tout en lui est enthousiasme et foi en la méthode expérimentale qu'il sait ne pouvoir le tromper. L'imagination est sans cesse contrôlée par l'expérience. Une méthode impeccable, après les obstacles tour à tour vaincus, le fait parvenir avec une logique rigoureuse à la certitude. Il lui suffit d'aborder un terrain où tout n'était qu'obscurité pour que jaillisse la lumière.

PASTEUR VALLERY-RADOT.

I

FERMENTATIONS

FERMENTATIONS LACTIQUE, ALCOOLIQUE, BUTYRIQUE, ETC.

(1857-1863)

MÉMOIRE SUR LA FERMENTATION APPELÉE LACTIQUE [1]

I. — *Avant-propos*

Je crois devoir indiquer en quelques mots comment j'ai été conduit à m'occuper de recherches sur les fermentations. Ayant appliqué jusqu'à présent tous mes efforts à essayer de découvrir les liens qui existent entre les propriétés chimiques, optiques et cristallographiques de certains corps dans le but d'éclairer leur constitution moléculaire, on s'étonnera peut-être de me voir aborder un sujet de chimie physiologique bien éloigné en apparence de mes premiers travaux. Il s'y rattache néanmoins très directement.

Dans l'une de mes dernières communications à l'Académie [2], j'ai établi que l'alcool amylique, contrairement à ce que l'on avait cru jusqu'alors, était une matière complexe formée de deux alcools distincts, isomères, l'un déviant à gauche le plan de polarisation de la lumière, l'autre dépourvu de toute action. La similitude des propriétés de ces alcools est extrême. Mais ce qui leur donne une valeur particulière dans la direction d'études que j'ai adoptée, c'est qu'ils ont offert la première exception connue à la loi de corrélation de l'hémiédrie et du phénomène rotatoire moléculaire. Je résolus dès lors de faire une étude approfondie des deux alcools amyliques, de déterminer, s'il était possible, les causes de leur production simultanée et leur véritable origine, sur laquelle certaines idées préconçues me portaient à ne point partager l'opinion commune. La constitution moléculaire des sucres me paraît très différente de celle de l'alcool amylique. Si cet alcool, lorsqu'il est actif, avait le sucre pour origine, comme tous les chimistes l'admettent, son action optique serait empruntée à celle du sucre.

1. *Mémoires de la Société des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille*, séance du 3 août 1857, 2e sér., V, 1858, p. 13-26. — *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., LII, 1858, p. 404-418.

2. *Voir* PASTEUR. Mémoire sur l'alcool amylique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLI, 1855, p. 296-300, et p. 275-279 du tome I des Œuvres de Pasteur. (*Note de l'Édition.*)

C'est ce que je répugne à croire dans l'état actuel de nos connaissances, parce que toutes les fois que l'on essaye de suivre la propriété rotatoire d'un corps dans ses dérivés, on la voit disparaître promptement. Il faut que le groupe moléculaire primitif se conserve en quelque sorte intact dans le dérivé pour que ce dernier continue d'être actif, résultat que mes recherches permettent de prévoir, puisque la propriété optique est tout entière dans une disposition dissymétrique des atomes élémentaires. Or je trouve que le groupe moléculaire de l'alcool amylique est trop distant de celui du sucre pour que, s'il en dérive, il en retienne une dissymétrie d'arrangement de ses atomes. Je le répète, ce sont là des idées préconçues. Elles suffisaient cependant pour me déterminer à étudier quelle pouvait être l'influence du ferment dans la production des deux alcools amyliques. Car on voit toujours ces alcools prendre naissance dans l'opération de la fermentation, et c'était là encore une invitation de plus à persévérer dans la solution de ces questions. Je dois avouer en effet que mes recherches sont dominées depuis longtemps par cette pensée que la constitution des corps, en tant qu'on l'envisage au point de vue de sa dissymétrie ou de sa non-dissymétrie moléculaire, toutes choses égales d'ailleurs, joue un rôle considérable dans les lois les plus intimes de l'organisation des êtres vivants et intervient dans leurs propriétés physiologiques les plus cachées.

Tels ont été pour moi l'occasion et le motif d'expériences nouvelles sur les fermentations. Mais, comme il arrive souvent en pareille circonstance, mon travail s'est agrandi peu à peu et a dévié de sa première direction; de telle sorte que les résultats que je publie aujourd'hui paraissent étrangers à mes études antérieures. La liaison se montrera plus évidente dans ceux qui suivront. J'espère pouvoir ultérieurement mettre en rapport les phénomènes de la fermentation et le caractère de dissymétrie moléculaire propre aux substances organiques [1].

II. — *Historique.*

L'acide lactique a été découvert par Scheele, en 1780, dans le petit-lait aigri. Son procédé pour le retirer de cette matière serait encore aujourd'hui le meilleur que l'on puisse suivre [2]. Bouillon-Lagrange et

1. *Voir* PASTEUR. Mémoire sur la fermentation de l'acide tartrique *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLVI, 1858, p. 615-618, et p. 25-28 du présent volume. *Note de l'Édition.*)

2. Il fit réduire d'abord le petit-lait au huitième par l'évaporation. Il le filtra, le satura par la chaux pour précipiter le phosphate de chaux. La liqueur fut filtrée et délayée dans trois fois son poids d'eau: il y versa goutte à goutte de l'acide oxalique pour précipiter toute la

plusieurs autres, par des recherches inexactes, obscurcirent l'étude de ses propriétés, ce qui fut cause que Braconnot décrivit en 1813 comme nouveau, et sous le nom bizarre d'acide de Nancy ou acide nancéique, un produit qui n'était autre que l'acide lactique de Scheele. Quoi qu'il en soit, le travail de Braconnot est l'un des mieux faits parmi les nombreux Mémoires auxquels cet acide a donné lieu. Il le rencontra dans le riz abandonné sous l'eau en fermentation; dans le jus de betterave qui, après avoir éprouvé la fermentation visqueuse et un mouvement de fermentation alcoolique, s'aigrit et donne de l'acide lactique et de la mannite; dans des haricots et des pois bouillis à l'eau fermentée; dans une eau sûre faite avec du levain de boulanger; enfin dans le lait aigri et dans l'acide lactique de Scheele (1).

La composition de l'acide lactique fut établie par MM. Pelouze et J. Gay-Lussac, en 1833 (2). Plus tard, en 1841, MM. Fremy et Boutron (3) publièrent un travail qui mérite une mention spéciale dans l'histoire de ce corps, parce qu'ils y font connaître le moyen de prolonger l'action des matières organiques azotées sur les sucres, de façon à transformer plus complètement ces derniers en acide lactique. Ils ont remarqué que l'action du caséum était arrêtée par l'acide lactique lui-même, et en saturant le liquide de temps à autre par le bicarbonate de soude, ils ont pu transformer tout le sucre du lait. MM. Pelouze et Gélis (4) ont fait mieux : ils ont ajouté de la craie à l'eau sucrée et au ferment. La craie maintient constamment la neutralité, sans que l'opérateur ait à exercer aucune surveillance. Alors on a pu, en reprenant les expériences de Braconnot et imitant celles de M. Colin sur la fermentation alcoolique, faire fermenter *lactiquement* le sucre à l'aide de toutes les matières plastiques azotées. Aussi les conditions matérielles de la préparation et de la production de l'acide lactique sont bien connues des chimistes. Tout le monde sait aujourd'hui qu'en

chaux. Il évapora la liqueur en consistance de miel. L'acide épaissi fut redissous dans l'alcool rectifié, ce qui élimina le sucre de lait et beaucoup d'autres matières étrangères. La distillation chassa l'alcool. [Bouillon-Lagrange. *Annales de chimie*, an XII, L, p. 288 ; d'après Scheele, Mémoire sur le lait ou son acide, ou acide galactique, *in* : Mémoires de chimie, *Dijon et Paris*, 1785, in-12, seconde partie, p. 51-68].

1. Braconnot. [Expériences sur un acide particulier qui se développe dans les matières acescentes]. *Annales de chimie*, LXXXVI, 1813, p. 84-100 ; — Vogel. [Note sur la formation de l'acide lactique pendant la fermentation]. *Journal de pharmacie*, III, 1817, p. 491-493 ; — Berzelius. [Sur l'acide lactique]. *Annales de chimie et de physique*, XLVI, 1846, p. 420-428, ont reconnu que l'acide lactique était un acide particulier.

2. Gay-Lussac et Pelouze. [Sur l'acide lactique]. *Annales de chimie et de physique*, 2e sér., LII, 1833, p. 410-424.

3. Boutron et Fremy. [Recherches sur la fermentâtion lactique]. *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., II, 1841, p. 257-274.

4. Pelouze (J.) et Gélis (A.). Mémoire sur l'acide butyrique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XVI, 1843, p. 1262-1271. (*Note de l'Édition.*)

ajoutant à de l'eau sucrée de la craie, plus une matière azotée telle que le caséum, le gluten, les membranes animales, la fibrine, l'albumine, etc., le sucre se transforme en acide lactique. Mais l'explication des phénomènes est très obscure. On ignore tout à fait le mode d'action de la matière plastique azotée. Son poids ne change pas d'une manière sensible. Elle ne devient pas putride. Elle se modifie cependant et elle est continuellement dans un état d'altération évidente, bien qu'il soit difficile de dire en quoi il consiste. Des recherches minutieuses n'ont pu jusqu'à présent faire découvrir le développement d'êtres organisés. Les observateurs qui en ont reconnu ont établi, en même temps, qu'ils étaient accidentels et nuisaient au phénomène.

Les faits paraissent donc très favorables aux idées de M. Liebig ou à celles de Berzelius. Aux yeux du premier, le ferment est une substance excessivement altérable qui se décompose et qui excite la fermentation par suite de l'altération qu'elle éprouve elle-même en ébranlant par communication et désassemblant le groupe moléculaire de la matière fermentescible. Là, selon M. Liebig, est la cause première de toutes les fermentations et l'origine de la plupart des maladies contagieuses. Pour Berzelius, l'acte chimique de la fermentation rentre dans les actions de contact. Ces opinions obtiennent chaque jour un nouveau crédit. On peut, à cet égard, consulter le Mémoire de MM. Fremy et Boutron sur la fermentation lactique, les pages qui traitent de la fermentation et des ferments dans le bel ouvrage que M. Gerhardt (1) a laissé en mourant, enfin le Mémoire tout récent de M. Berthelot sur la fermentation alcoolique (2). Ces travaux s'accordent à rejeter l'idée d'une influence quelconque de l'organisation et de la vie dans la cause des phénomènes qui nous occupent. Je suis conduit à une manière de voir entièrement différente.

Je me propose d'établir dans la première partie de ce travail que, de même qu'il existe un ferment alcoolique, la levûre de bière, que l'on trouve partout où il y a du sucre qui se dédouble en alcool et en acide carbonique, de même il y a un ferment particulier, une levûre lactique, toujours présente quand du sucre devient acide lactique, et que, si toute matière plastique azotée peut transformer le sucre en cet acide, c'est qu'elle est pour le développement de ce ferment un aliment convenable.

1. Gerhardt. Traité de chimie organique. *Paris*, 1856, 4 vol. in-8°.

2. Berthelot. Sur la fermentation alcoolique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLIV, 1857, p. 702-706. (*Notes de l'Édition.*)

III. — *Nouvelle levûre. — Sa préparation. — Ses propriétés. — Ses analogies et ses différences avec la levûre de bière.*

Si l'on examine avec attention une fermentation lactique ordinaire, il y a des cas où l'on peut reconnaître au-dessus du dépôt de la craie et de la matière azotée des taches d'une substance grise formant quelquefois zone à la surface du dépôt. Cette matière se trouve d'autres fois collée aux parois supérieures du vase, où elle a été emportée par le mouvement gazeux. Son examen au microscope ne permet guère, lorsqu'on n'est pas prévenu, de la distinguer du caséum, du gluten désagrégés, etc...; de telle sorte que rien n'indique que ce soit une matière spéciale, ni qu'elle ait pris naissance pendant la fermentation. Son poids apparent est toujours très faible, comparé à celui de la matière azotée primitivement nécessaire à l'accomplissement du phénomène. Enfin très souvent elle est tellement mélangée à la masse de caséum et de craie, qu'il n'y aurait pas lieu de croire à son existence. C'est elle néanmoins qui joue le principal rôle. Je vais tout d'abord indiquer le moyen de l'isoler, de la préparer à l'état de pureté.

J'extrais de la levûre de bière sa partie soluble, en la maintenant quelque temps à la température de l'eau bouillante avec quinze à vingt fois son poids d'eau. La liqueur, solution complexe de matière albuminoïde et minérale, est filtrée avec soin (1). On y fait dissoudre environ 50 à 100 grammes de sucre par litre, on ajoute de la craie et l'on sème une trace de cette matière grise dont j'ai parlé tout à l'heure, extraite d'une bonne fermentation lactique ordinaire; puis on porte à l'étuve à 30 ou 35°. Il est bon également de faire passer un courant d'acide carbonique pour chasser l'air du flacon, auquel on adapte un tube courbé plongeant dans l'eau. Dès le lendemain, une fermentation vive et régulière se manifeste. Le liquide, très limpide à l'origine, se trouble; la craie disparaît peu à peu, en même temps qu'un dépôt s'effectue et augmente continûment et progressivement au fur et à mesure de la dissolution de la craie. Le gaz qui se dégage est de l'acide carbonique pur ou un mélange en proportions variables d'acide carbonique et d'hydrogène. Lorsque la craie a disparu, si l'on

1. Si elle ne passait pas claire, on pourrait facilement la rendre limpide en la faisant bouillir avec un peu de craie ou en lui ajoutant une très petite quantité d'eau de chaux ou de sucrate de chaux qui la précipitent abondamment. Cette précaution est presque toujours nécessaire quand l'eau de levûre a été préparée avec de la levûre qui est en lavage depuis quelques jours. La levûre fraîche, ou qui n'a subi qu'un ou deux lavages par décantation à froid, donne une eau de levûre qui passe très limpide au filtre.

évapore le liquide, du jour au lendemain il fournit une cristallisation abondante de lactate de chaux, et l'eau mère contient des quantités variables de butyrate de cette base. Si les proportions de craie et de sucre sont convenables, le lactate cristallise en masse volumineuse au sein même du liquide pendant le cours de l'opération. Quelquefois la liqueur prend une viscosité très grande. En un mot, on a sous les yeux une fermentation lactique des mieux caractérisées, avec tous les accidents et toute la complication habituelle de ce phénomène, bien connu des chimistes dans ses manifestations extérieures.

On peut remplacer, dans cette expérience, la décoction de levûre par celle de toute matière plastique azotée, fraîche ou altérée, selon les cas. Ce liquide limpide, tenant en dissolution une matière azotée, n'est qu'un aliment, et à ce titre son origine importe peu, pourvu que sa nature se prête au développement du corps organisé qui se produit et se dépose successivement.

Voyons maintenant quels sont les caractères de cette substance, dont la production est corrélative des phénomènes compris sous la dénomination de fermentation lactique. Prise en masse, elle ressemble tout à fait à de la levûre ordinaire égouttée ou pressée. Elle est un peu visqueuse, de couleur grise. Au microscope, elle est formée de petits globules ou d'articles très courts, isolés ou en amas, constituant des flocons irréguliers ressemblant à ceux de certains précipités amorphes. Les globules, beaucoup plus petits que ceux de la levûre de bière, sont agités vivement, lorsqu'ils sont isolés, du mouvement brownien, c'est-à dire du mouvement qu'affecte toujours la matière solide en suspension dans un liquide lorsqu'elle est amenée à un état suffisant de division (1). Lavée à grande eau par décantation, puis délayée dans de l'eau sucrée pure, elle l'acidifie immédiatement, progressivement, mais avec une grande lenteur, parce que l'acidité gêne beaucoup son action sur le sucre. Si l'on fait intervenir la craie, qui maintient la neutralité du milieu, la transformation du sucre est sensiblement accélérée, et en moins d'une heure le dégagement du gaz est manifeste et la liqueur se charge de lactate et de butyrate de chaux en quantités variables. Lorsque, d'autre part, il y a une matière albuminoïde présente propre à la nourriture de la substance, elle se développe et l'on en recueille des quantités qui n'ont de limites que dans le poids de sucre employé et le poids de matière albuminoïde.

1. Je n'assigne pas la grosseur des petits globules. Je crois qu'à cet état de ténuité de la matière, l'illusion produite par le jeu de la lumière sur les bords des globules entraîne à des erreurs de l'ordre de grandeur des mesures elles-mêmes. C'est cependant un point que des personnes plus versées que moi dans les recherches microscopiques pourront résoudre avec plus de certitude.

Elle peut être recueillie et transportée au loin sans perdre son énergie. Son activité n'est qu'affaiblie quand on la dessèche ou qu'on la fait bouillir avec de l'eau. Enfin il faut très peu de cette levûre pour transformer un poids considérable de sucre. Ces fermentations doivent s'effectuer de préférence à l'abri de l'air, afin qu'elles ne soient pas gênées par des végétations ou des infusoires étrangers.

Nous retrouvons là tous les caractères généraux de la levûre de bière, et ces substances ont probablement des organisations qui, dans une classification naturelle, doivent occuper deux genres voisins ou deux familles rapprochées.

Pour ce qui est de la rapidité et de la régularité de la fermentation lactique dans les conditions que j'ai assignées, *lorsque le ferment lactique se développe seul*, tous les chimistes en seront surpris : elle est souvent plus rapide, à quantité de matière égale, que la fermentation alcoolique. La fermentation lactique, telle qu'on la pratique ordinairement, est beaucoup plus longue; cela se conçoit très bien. Le gluten, le caséum, la fibrine, les membranes, les tissus,... que l'on emploie renferment énormément de matières inutiles. Le plus souvent elles ne deviennent un aliment pour le ferment lactique qu'après s'être putréfiées, altérées au contact de végétations ou d'animalcules qui ont rendu leurs éléments solubles et assimilables.

Voici un autre caractère qui permet de rapprocher encore le nouveau ferment de la levûre de bière : Si l'on sème dans le liquide sucré albumineux limpide de la levûre de bière et non de la levûre lactique, c'est de la levûre de bière qui se développera, et avec elle la fermentation alcoolique, bien qu'il n'y ait rien de changé aux autres conditions de l'opération. Il ne faudrait pas en conclure qu'il y aura identité de composition chimique entre les deux levûres, pas plus que la composition chimique de deux végétaux n'est la même parce qu'ils ont vécu dans le même sol.

Enfin, il y a une dernière analogie que je ne dois pas omettre; c'est qu'il n'est pas nécessaire d'avoir déjà de la levûre lactique pour en préparer : elle prend naissance spontanément[1], avec autant de facilité que la levûre de bière, toutes les fois que les conditions sont favorables.

1. Je me sers de ce mot comme expression du fait, en réservant complètement la question de la génération spontanée. Au contact de l'air commun la levûre lactique prend naissance si les conditions de nature du milieu et de température s'y prêtent. Si l'on opère à l'abri de l'air ou avec de l'air préalablement chauffé, les choses se passent comme il arrive pour la levûre de bière ou les infusoires, et l'on peut reproduire dans ces conditions les expériences bien connues de divers physiologistes qui ont répété et précisé celles d'Appert et de Gay Lussac sur l'influence de l'air dans les phénomènes dont il est ici question

Que l'on dissolve du sucre dans de l'eau de levûre limpide, et qu'on ajoute de la craie, la fermentation s'y établira dès le lendemain ou le surlendemain, et, parce que le milieu est neutre, elle aura une tendance à être exclusivement lactique. On aura beau empêcher le contact de l'air; il suffira que dans les transvasements ce contact ait eu lieu, et, à moins de précautions toutes particulières, que je ne suppose pas, cela arrivera infailliblement. Néanmoins, il est bien préférable de semer dans le liquide un peu de ferment lactique, parce que, dans le cas contraire, on s'expose à avoir le développement simultané de plusieurs fermentations et celui d'animalcules qui nuisent beaucoup.

Toutes les fois qu'un liquide albumineux de nature convenable renferme un corps tel que le sucre pouvant éprouver des transformations chimiques diverses et dépendantes de la nature de tel ou tel ferment, les germes de ces ferments tendent tous à se propager à la fois, et le plus ordinairement leur développement simultané se présente, à moins que l'un des ferments n'envahisse le terrain plus promptement que les autres. Or, c'est précisément cette dernière circonstance que l'on détermine quand on suit cette méthode de l'ensemencement d'un être déjà formé et prêt à se reproduire. Si l'on ne sème aucun ferment dans un mélange d'eau sucrée, de matière albuminoïde et de craie, on a généralement plusieurs fermentations parallèles avec leurs ferments respectifs, et des animalcules qui paraissent dévorer les petits globules de ces ferments. L'addition préalable d'un ferment déterminé et pur favorise beaucoup la production d'une fermentation unique et correspondante, sans l'assurer dans tous les cas. On peut comparer ce qui se passe dans les fermentations à ce que nous offre un terrain dans lequel on ne place aucune semence. On le voit bientôt chargé de plantes et d'insectes divers qui se nuisent mutuellement.

La pureté d'un ferment, son homogénéité, son développement libre, sans aucune gêne, à l'aide d'une nourriture très bien appropriée à sa nature individuelle, voilà l'une des conditions essentielles des bonnes fermentations. Or, à cet égard, il faut savoir que les circonstances de neutralité, d'alcalinité, d'acidité ou de composition chimique des liqueurs ont une grande part dans le développement prédominant de tels ou tels ferments, parce que leur vie ne s'accommode pas au même degré des divers états des milieux. Que l'on fasse dissoudre, par exemple, du sucre dans de l'eau de levûre très limpide sans ajouter de craie et sans rien semer, on peut être assuré que le surlendemain la fermentation sera alcoolique, avec levûre déposée au fond du vase.

Dans des cas très rares, dont j'ai eu cependant la preuve à diverses reprises dans mes nombreux essais, le ferment développé sera le ferment lactique. Je le répète, c'est une exception si les choses se passent ainsi, et lors même qu'on aurait préalablement semé du ferment lactique. C'est que, dans ces conditions, la liqueur peut devenir acide et que l'acidité paraît affaiblir et contrarier le ferment lactique plus que le ferment alcoolique. Bien des recherches sont encore à faire dans cette direction.

Que l'on rende au contraire le milieu neutre ou un peu alcalin, le ferment lactique aura une grande tendance à se montrer et à se multiplier. Je vais en donner des preuves certaines. Si l'on ajoute à de l'eau sucrée et à de la levûre de bière de la magnésie dont la réaction est alcaline, il y aura à la fois fermentation alcoolique et fermentation lactique avec précipitation de lactate de magnésie cristallisé ; et si l'on étudie le liquide au microscope, on verra, mêlés aux globules de levûre, une quantité considérable de petits globules de ferment lactique. Ces globules prennent naissance spontanément au sein du liquide albuminoïde fourni par la partie soluble de la levûre, alors que l'alcalinité du liquide diminue beaucoup l'activité de la levûre comme ferment alcoolique. Un milieu légèrement alcalin convient donc très bien au développement de la nouvelle levûre, mais aussi il est éminemment favorable aux infusoires, qui, en dévorant les jeunes globules, ou tout au moins en leur enlevant leur nourriture, mettent une entrave souvent insurmontable à ce genre de phénomènes.

La levûre de bière offre des particularités de même nature. Elle agit fort mal au milieu d'une liqueur alcaline ; le plus souvent elle y est arrêtée. Elle est également gênée par une acidité même très minime, contrairement à ce qui est admis généralement. C'est d'un milieu neutre qu'elle s'accommode le mieux, et, comme dans toute fermentation alcoolique ordinaire il se forme des acides, il y a une cause permanente de ralentissement de son action. Et, en effet, j'ai reconnu que l'addition de la craie à la levûre de bière favorise singulièrement le dédoublement du sucre en alcool et en acide carbonique. Et quand rien n'entrave ce mode de fermentation alcoolique, lorsque celle-ci a toute la rapidité qu'elle peut acquérir, la quantité d'acide formée dépasse très peu ou n'atteint pas celle qui se serait produite sans addition de craie. Il faudrait donc théoriquement maintenir le milieu neutre dans la fermentation alcoolique ; elle serait incomparablement plus prompte. Ce procédé néanmoins n'est point pratique ; il amènerait de graves accidents, parce que la neutralité du milieu favorisant le développement de la levûre lactique et des animalcules

aux dépens de la partie soluble de la levûre de bière qui leur sert d'aliment, il arriverait le plus souvent que beaucoup de sucre se transformerait en acide lactique ou que les animalcules enlèveraient à la levûre sa propre nourriture.

Les détails dans lesquels je viens d'entrer permettent de prévoir toutes les variations auxquelles sont sujettes les fermentations, et en particulier la fermentation lactique, qui exige un milieu dont la neutralité convient également à d'autres végétaux et à des infusoires. Lors même que l'on suit toutes les précautions que j'ai indiquées, il arrive encore souvent qu'il y a complication et coïncidence de phénomènes divers. J'ai dû rechercher dès lors les circonstances les mieux appropriées à la production de la levûre lactique seule. On a vu que c'était la levûre de bière et les infusoires qui gênaient le plus. Il faut donc des conditions propres à en arrêter le développement sans influer notablement sur celui de la levûre lactique. J'espère y arriver par l'emploi du jus d'oignon brut comme milieu albumineux. L'huile essentielle de ce jus s'oppose complètement à la formation de la levûre de bière; elle paraît nuire également aux infusoires. Je reviendrai donc, dans un travail spécial, sur l'utilité de l'emploi de ce jus naturel.

Lors même que par l'emploi de ce jus d'oignon on n'arriverait pas à résoudre complètement la difficulté, c'est-à-dire à déterminer *constamment et facilement* la fermentation lactique sans complication de ferments ou d'infusoires étrangers aux phénomènes, tous les faits que j'ai recueillis me portent à croire que le moyen le plus efficace pour atteindre ce résultat est de chercher à nuire à la production des ferments parasites au moyen de substances particulières[1]. Que l'on sème, par exemple, des globules frais de levûre de bière dans le jus d'oignon brut, et jamais ces globules ne se développent. Ils ne provoquent aucunement la fermentation alcoolique. Au contraire, que l'on fasse préalablement bouillir le jus d'oignon, ce qui a pour effet de chasser l'huile essentielle sulfurée, et peut-être de modifier les principes albumineux, la levûre de bière se développera dans le liquide refroidi avec une efficacité remarquable, et le sucre du jus ou celui que l'on pourrait avoir ajouté se changera en alcool et en acide carbonique. Aussi jamais la fermentation alcoolique ne se déclare spontanément dans le jus d'oignon brut naturel, bien que ce jus soit acide à la manière du jus de raisin, tandis qu'il éprouve toujours la

1. Ou par le choix de la matière azotée qui doit servir au développement de l'espèce de levûre que l'on a intérêt de faire naître à l'exclusion d'autres.

fermentation lactique jointe ou non à diverses particularités, sur lesquelles j'appellerai ultérieurement l'attention (1).

Dans tout le cours de ce Mémoire, j'ai raisonné dans l'hypothèse que la nouvelle levûre est organisée, que c'est un être vivant et que son action chimique sur le sucre est corrélative de son développement et de son organisation. Si l'on venait me dire que dans ces conclusions je vais au delà des faits, je répondrais que cela est vrai, en ce sens que je me place franchement dans un ordre d'idées qui, pour parler rigoureusement, ne peuvent être irréfutablement démontrées. Voici ma manière de voir. Toutes les fois qu'un chimiste s'occupera de ces mystérieux phénomènes, et qu'il aura le bonheur de leur faire faire un pas important, il sera instinctivement porté à placer leur cause première dans un ordre de réactions en rapport avec les résultats généraux de ses propres recherches. C'est la marche logique de l'esprit humain dans toutes les questions controversées. Or il m'est avis, au point où je me trouve de mes connaissances sur le sujet, que quiconque jugera avec impartialité les résultats de ce travail et ceux que je publierai prochainement reconnaîtra avec moi que la fermentation s'y montre corrélative de la vie, de l'organisation de globules, non de la mort ou de la putréfaction de ces globules, pas plus qu'elle n'y apparaît comme un phénomène de contact, où la transformation du sucre s'accomplirait en présence du ferment sans lui rien donner, sans lui rien prendre. Ces derniers faits, on le verra bientôt, sont contredits par l'expérience.

Dans un prochain travail je m'occuperai de l'action chimique de la nouvelle levûre sur les matières sucrées (2).

1. C'est en étudiant du jus d'oignon qui, abandonné à lui-même, était devenu très acide que Fourcroy et Vauquelin ont découvert pour la première fois dans les liquides naturels fermentés un principe cristallisable identique avec celui de la manne. C'est Vauquelin qui remarqua la production de cristaux dans ce jus d'oignon évaporé, et c'est M. Chevreul qui fit l'étude de ces cristaux et reconnut leur identité avec la mannite.

Le travail de Fourcroy et Vauquelin [intitulé : Sur l'analyse chimique de l'oignon (*allium cepa*)] est imprimé par extraits dans les *Annales de chimie*, LXV, 1808, p. 161-174.

2. Pasteur. Nouveaux faits pour servir à l'histoire de la levûre lactique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLVIII, 1859, p. 337-338, et p. 34-36 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

MÉMOIRE SUR LA FERMENTATION APPELÉE LACTIQUE

(EXTRAIT PAR L'AUTEUR) [1].

J'ai été conduit à m'occuper de la fermentation à la suite de mes recherches sur les propriétés des alcools amyliques et sur les particularités cristallographiques fort remarquables de leurs dérivés. J'aurai l'honneur de présenter ultérieurement à l'Académie des observations qui offriront une liaison inattendue entre les phénomènes de la fermentation et le caractère de dissymétrie moléculaire propre aux substances organiques naturelles...

Les conditions matérielles de la préparation et de la production de l'acide lactique sont bien connues des chimistes. On sait qu'il suffit d'ajouter à de l'eau sucrée de la craie, qui maintient le milieu neutre, plus une matière azotée, telle que le caséum, le gluten, les membranes animales, etc., pour que le sucre se transforme en acide lactique. Mais l'explication des phénomènes est très obscure; on ignore tout à fait le mode d'action de la matière plastique azotée. Son poids ne change pas d'une manière sensible. Elle ne devient pas putride. Elle se modifie cependant et elle est continuellement dans un état d'altération évidente, bien qu'il serait difficile de dire en quoi il consiste.

Des recherches minutieuses n'ont pu jusqu'à présent faire découvrir dans ces opérations le développement d'êtres organisés. Les observateurs qui en ont reconnu ont établi en même temps qu'ils étaient accidentels et nuisaient au phénomène.

Les faits paraissent donc très favorables aux idées de M. Liebig (2). A ses yeux, le ferment est une substance excessivement altérable qui se décompose et qui excite la fermentation par suite de l'altération

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 30 novembre 1857, XLV, p. 913-916.

2. Il résulte des recherches historiques récentes de M. Chevreul, insérées au *Journal des savants* [1856, p. 94-105], que Stahl avait déjà émis des idées analogues à celles de M. Liebig sur les causes de la fermentation alcoolique.

qu'elle éprouve elle-même, en ébranlant par communication et désassemblant le groupe moléculaire de la matière fermentescible. Là, selon M. Liebig, est la cause première de toutes les fermentations et l'origine de la plupart des maladies contagieuses. Cette opinion obtient chaque jour un nouveau crédit. On peut à cet égard consulter le Mémoire de MM. Fremy et Boutron sur la fermentation lactique, les pages qui traitent de la fermentation et des ferments dans le bel ouvrage que M. Gerhardt a laissé en mourant, enfin le Mémoire tout récent de M. Berthelot sur la fermentation alcoolique. Ces travaux s'accordent à rejeter l'idée d'une influence quelconque de l'organisation et de la vie dans la cause des phénomènes qui nous occupent. Je suis conduit à une manière de voir entièrement différente.

Je me propose d'établir dans la première partie de ce travail que, de même qu'il existe un ferment alcoolique, la levûre de bière, que l'on trouve partout où il y a du sucre qui se dédouble en alcool et en acide carbonique, de même il y a un ferment particulier, une levûre lactique, toujours présente quand du sucre devient acide lactique, et que, si toute matière plastique azotée peut transformer le sucre en cet acide, c'est qu'elle est pour le développement de ce ferment un aliment convenable.

Il y a des cas où l'on peut reconnaître dans les fermentations lactiques ordinaires, au-dessus du dépôt de la craie et de la matière azotée, des portions d'une substance grise formant quelquefois zone à la surface du dépôt. Son examen au microscope ne permet guère de le distinguer du caséum, du gluten désagrégés, etc., de telle sorte que rien n'indique que ce soit une matière spéciale, ni qu'elle ait pris naissance pendant la fermentation. C'est elle néanmoins qui joue le principal rôle. Je vais tout d'abord indiquer le moyen de l'isoler, de la préparer à l'état de pureté.

J'extrais de la levûre de bière sa partie soluble en la maintenant quelque temps à la température de l'eau bouillante avec quinze à vingt fois son poids d'eau. La liqueur est filtrée avec soin. On y fait dissoudre environ 50 grammes de sucre par litre, on ajoute de la craie et l'on sème dans le milieu une trace de la matière grise dont j'ai parlé tout à l'heure, en la retirant d'une bonne fermentation lactique ordinaire. Dès le lendemain, il se manifeste une fermentation vive et régulière. Le liquide, parfaitement limpide à l'origine, se trouble, la craie disparaît peu à peu, en même temps qu'un dépôt s'effectue et augmente continûment et progressivement au fur et à mesure de la dissolution de la craie. En outre, on observe tous les caractères et tous les accidents bien connus de la fermentation

lactique. On peut remplacer dans cette expérience l'eau de levûre par la décoction de toute matière plastique azotée, fraîche ou altérée selon les cas. Voyons maintenant les caractères de cette substance dont la production est corrélative des phénomènes compris sous la dénomination de *fermentation lactique*. Son aspect rappelle celui de la levûre de bière quand on l'étudie en masse et égouttée ou pressée. Au microscope, elle est formée de petits globules ou de petits articles très courts, isolés ou en amas constituant des flocons irréguliers. Ses globules, beaucoup plus petits que ceux de la levûre de bière, sont agités vivement du mouvement brownien. Lavée à grande eau par décantation, puis délayée dans de l'eau sucrée pure, elle l'acidifie immédiatement, progressivement, mais avec une grande lenteur, parce que l'acidité gêne beaucoup son action sur le sucre. Si l'on fait intervenir la craie qui maintient la neutralité du milieu, la transformation du sucre est fort accélérée; et lors même qu'on opère sur très peu de matière, en moins d'une heure le dégagement du gaz est manifeste et la liqueur se charge de lactate et de butyrate de chaux. Il faut très peu de cette levûre pour transformer beaucoup de sucre. Ces fermentations doivent s'effectuer de préférence à l'abri de l'air, sans quoi elles sont gênées par des végétations ou des infusoires parasites...

La fermentation lactique est donc aussi bien que la fermentation alcoolique ordinaire un acte corrélatif de la production d'une matière azotée qui a toutes les allures d'un corps organisé mycodermique probablement très voisin de la levûre de bière. Mais les difficultés du sujet ne sont qu'à moitié résolues. Sa complication est extrême. L'acide lactique est bien le produit principal de la fermentation à laquelle il a donné son nom. Il est loin d'être le seul. On le trouve constamment accompagné d'acide butyrique, d'alcool, de mannite, de matière visqueuse. La proportion de ces matières est soumise aux plus capricieuses variations. Il y a une circonstance mystérieuse relative à la mannite. Non seulement la proportion qui s'en forme est sujette aux plus grandes variations; M. Berthelot vient d'établir, en outre, que si l'on remplace le sucre par la mannite dans la fermentation lactique, toutes les autres conditions demeurant sensiblement les mêmes, la mannite fermente en donnant de l'alcool, de l'acide lactique et de l'acide butyrique [1]. Comment dès lors concevoir qu'il puisse y avoir formation de mannite dans des cas de fermentation lactique, puisque, peut-on croire, elle devrait se détruire au fur et à mesure de sa production?

1. Berthelot. Transformation de la mannite et de la glycérine en un sucre proprement dit. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLIV, 1857, p. 1002-1006. (*Note de l'Édition.*)

Étudions avec plus de soins que nous ne l'avons fait les propriétés chimiques de la nouvelle levûre. J'ai dit que lavée à grande eau et placée dans de l'eau sucrée pure, elle acidifiait progressivement la liqueur. La transformation du sucre devient, dans ces conditions, de plus en plus pénible, à mesure que le liquide prend lui-même une plus grande acidité. Or, si l'on analyse la liqueur, ce qui ne peut être accompli avec succès qu'après la saturation des acides par la craie et la destruction ultérieure du sucre en excès par la levûre de bière, on trouve dans le liquide évaporé, et en proportion variable, la mannite d'une part, de l'autre la matière visqueuse. Ainsi donc la levûre lactique lavée mise en présence du sucre le transforme en divers produits parmi lesquels il y a toujours de la mannite, mais c'est à la condition que le liquide puisse devenir promptement acide; car si l'on répète exactement la même expérience avec la précaution d'ajouter un peu de craie afin que le milieu reste constamment neutre, ni gomme, ni mannite ne prennent naissance, ou mieux ne peuvent persister, parce que, on va le voir, les conditions de leur propre transformation se trouvent réunies.

J'ai rappelé tout à l'heure que M. Berthelot avait prouvé qu'en substituant la mannite au sucre dans la fermentation lactique, cette matière fermentait. Or il est facile de se convaincre que dans les cas nombreux de fermentation de la mannite, c'est la levûre lactique qui prend naissance et produit le phénomène. Si l'on mêle à une solution de mannite pure de la craie en poudre et de la levûre lactique fraîche et lavée, au bout d'une heure déjà le dégagement gazeux et la transformation chimique de la mannite commenceront. Il se forme de l'acide carbonique, de l'hydrogène, et la liqueur renferme de l'alcool, de l'acide lactique, de l'acide butyrique, tous les produits de la fermentation de la mannite.

Quant à l'acide butyrique, l'expérience prouve que la levûre lactique agit directement sur le lactate de chaux en donnant du carbonate de chaux et du butyrate de chaux. Mais l'action s'exerce d'abord sur le sucre, et tant qu'il y en a dans la liqueur, la levûre le fait fermenter de préférence à l'acide lactique.

Dans des communications très prochaines, j'aurai l'honneur de présenter à l'Académie l'application des idées générales et des nouvelles méthodes d'expérimentation de ce travail à d'autres fermentations.

MÉMOIRE SUR LA FERMENTATION ALCOOLIQUE

(EXTRAIT PAR L'AUTEUR) [1].

J'ai soumis la fermentation alcoolique à la méthode d'expérimentation indiquée dans le Mémoire que j'ai eu l'honneur de présenter récemment à l'Académie [2]. Les résultats de ces travaux demandent à être rapprochés, parce qu'ils s'éclairent et se complètent mutuellement.

On sait qu'il y a deux cas principaux à distinguer dans la fermentation alcoolique. La levûre agit dans de l'eau sucrée pure ou en présence de matières albuminoïdes. Dans le premier cas, la levûre s'épuise et devient impropre à exciter de nouveau la fermentation. Dans le deuxième, elle reste active. On en recueille plus qu'on n'en a employé. Elle se régénère ou mieux il s'en détruit autant que dans le premier cas; mais comme il s'en reforme une nouvelle proportion, le poids de celle qui a disparu est masqué par l'augmentation de poids due à celle qui s'est régénérée. Quant au poids de levûre qui disparaît, les auteurs l'évaluent à 1 partie et demie environ de levûre sèche pour 100 de sucre.

La décomposition de la levûre dans le cas où le ferment s'épuise au contact de l'eau sucrée pure est un des faits qui importent le plus à la théorie de M. Liebig : « Si la fermentation, dit-il, était une conséquence du développement et de la multiplication des globules, ils n'exciteraient pas la fermentation dans de l'eau sucrée pure qui manque des autres conditions essentielles à la manifestation de l'activité vitale; cette eau ne renferme pas la matière azotée nécessaire à la production de la partie azotée des globules. »

On ne peut méconnaître que si la levûre bien lavée, mise au contact de l'eau sucrée pure, ne fait que s'altérer et se détruire, il n'est pas

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 21 décembre 1857, XLV, p. 1032-1036.

2. *Voir* le Mémoire précédent. (*Note de l'Édition*.)

possible de prétendre que la fermentation alcoolique est un acte corrélatif d'un développement de globules.

L'expérience va nous apprendre que les faits sur lesquels s'appuie M. Liebig n'ont pas l'exactitude qu'il leur suppose, et que dans la fermentation avec eau sucrée pure, il y a une somme de vie et d'organisation égale à celle qui se manifeste dans le cas général.

Je prends deux quantités égales de levûre fraîche, lavée à grande eau. Je place l'une en fermentation avec de l'eau sucrée pure, et, après avoir extrait de l'autre toute sa partie soluble en la faisant bouillir avec beaucoup d'eau et filtrant pour éloigner les globules, j'ajoute à la liqueur limpide autant de sucre que j'en ai employé dans la première fermentation, plus une trace de levûre fraîche qui ne peut apporter, comme poids de matière, aucun trouble dans les résultats de l'expérience. Les globules semés bourgeonnent, le liquide se trouble, un dépôt de levûre se forme peu à peu, et parallèlement s'effectue le dédoublement du sucre qui est déjà sensible après quelques heures. Ces résultats étaient faciles à prévoir; mais voici le fait qu'il importe de noter. En déterminant par cet artifice l'organisation en globules de la partie soluble de la deuxième portion de levûre, on dédouble un poids de sucre considérable. Je rapporterai les résultats d'une expérience : 5 grammes de levûre ont fait fermenter en six jours 12,9 grammes de sucre, et étaient épuisés. La partie soluble d'une égale portion de 5 grammes de la même levûre a fait fermenter 10,0 grammes de sucre en neuf jours, et la levûre développée par la semence était également épuisée.

En résumé, lorsque l'on provoque l'organisation en globules de la partie azotée soluble de la levûre de bière, elle dédouble une quantité de sucre qui approche du poids total de sucre que peut dédoubler une portion de levûre brute égale à celle qui a servi à l'extraction de cette partie soluble. La différence entre les deux poids de sucre fermenté paraît d'ailleurs bien facile à comprendre. Le développement des globules doit être pénible dans l'eau de levûre très diluée, et d'autre part l'ébullition avec l'eau enlève difficilement à la levûre toute sa partie soluble, probablement emprisonnée à l'intérieur des globules.

A ces résultats se rattache directement l'explication de phénomènes qui ont toujours paru extraordinaires dans l'histoire de la fermentation. M. Thenard a observé depuis longtemps que la levûre pouvait être desséchée à 100°, ou portée à l'ébullition sans perdre sensiblement de son énergie. La particularité de son action dans ces conditions spéciales consiste en ce que la fermentation se déclare plus lentement qu'en opérant sur la même levûre fraîche et qu'elle a une plus longue

durée. Ces faits curieux sont encore invoqués par les chimistes qui partagent les idées de Liebig et Berzelius et éloignent l'influence de l'organisation dans la cause des phénomènes qui nous occupent. Car une température de 100° doit détruire tout principe de vie dans la levûre de bière, et néanmoins elle agit après avoir subi cette température élevée, jointe ou non à une dessiccation prolongée.

L'explication de ces phénomènes me paraît très naturelle. Je viens d'établir que dans la levûre de bière, ce ne sont point les globules qui jouent le principal rôle, mais bien la mise en globules de leur partie soluble; car je prouve que l'on peut supprimer les globules formés, et l'effet total sur le sucre est sensiblement le même. Or, assurément, il importe peu qu'on les supprime de fait par une filtration avec séparation de leur partie soluble, ou qu'on les tue par une température de 100°, en les laissant mêlés à cette partie soluble. C'est ce dernier cas que l'on réalise quand on emploie de la levûre desséchée à 100°. C'est également le cas de la levûre portée à l'ébullition dans de l'eau, pourvu toutefois qu'on n'éloigne pas par une filtration la partie dissoute. Car si la levûre mise en ébullition est filtrée, et que l'on recueille les globules restés sur le filtre, ils seront à peu près complètement inertes, parce qu'ils auront été séparés de leur partie soluble.

Mais, dira-t-on, comment la fermentation du sucre peut-elle s'établir lorsque l'on emploie de la levûre portée à 100°, si elle n'est due qu'à l'organisation de la partie soluble des globules, et que ceux-ci aient été tous paralysés par la température de 100°? La fermentation s'établit alors tout comme elle s'établit dans un liquide sucré naturel, jus de raisin, de canne à sucre, etc., c'est-à-dire spontanément, et c'est là ce qui rend compte de la particularité que j'ai signalée du retard apporté à la fermentation quand on dessèche préalablement la levûre à 100°, aussi bien que cela explique la plus longue durée de l'action de la levûre dans ces conditions. On le voit, dans tous les cas, même les plus propres en apparence à nous éloigner de croire à l'influence de l'organisation dans les phénomènes de fermentation, l'acte chimique qui les caractérise est toujours corrélatif d'une formation de globules lente et progressive à la manière de l'acte chimique lui-même.

Les observations suivantes, tout en confirmant les données qui précèdent, jetteront un jour nouveau sur les fermentations. Les théories de la fermentation partent de ce principe que le ferment ne cède rien et ne prend rien à la matière fermentescible. Je vais démontrer au contraire que la levûre emprunte quelque chose au sucre, que le sucre est un de ses aliments, qu'il n'y a pas équation

entre les quantités d'alcool, d'acide carbonique d'acide lactique, et le poids total du sucre devenu incristallisable. Ces résultats peuvent être facilement établis. Il suffit de prendre deux quantités égales de levûre fraîche lavée, de dessécher l'une dans sa capsule de pesée, et de prendre alors son poids exact à 100°. Ce poids sera dans tous les cas inférieur à celui de l'autre portion également desséchée à 100°, et recueillie seulement après qu'on l'aura épuisée en présence d'un excès de sucre. La différence des poids est variable, mais elle est toujours fort sensible. Il faut remarquer d'ailleurs que des causes de pertes importantes sont placées du côté de la portion de levûre qui pèse le plus. Ce résultat curieux et inattendu permet de rendre compte d'un fait qui, au début de ces études, m'avait beaucoup surpris. Lorsque la levûre s'épuise dans l'eau sucrée pure, on admet que tout son azote passe à l'état de sel d'ammoniaque. En réalité, la quantité d'ammoniaque formée pendant la fermentation est excessivement faible et bien inférieure à celle qui devrait prendre naissance pour que l'on pût expliquer par elle la diminution de la teneur en azote de la levûre. La perte d'azote de la levûre n'est qu'apparente. Elle est due principalement à son augmentation de poids par assimilation du sucre, matière privée d'azote.

Les conclusions à déduire des faits qui précèdent seront évidentes pour tout le monde. Le dédoublement du sucre en alcool et en acide carbonique est un acte corrélatif d'un phénomène vital, d'une organisation de globules, organisation à laquelle le sucre prend une part directe, en fournissant une portion des éléments de la substance de ces globules.

Avant de terminer, je demande à l'Académie la permission de lui annoncer un résultat auquel j'attache une grande importance. J'ai découvert un mode de fermentation de l'acide tartrique, qui s'applique très facilement à l'acide tartrique droit ordinaire, et très mal ou pas du tout à l'acide tartrique gauche. Or, chose singulière, mais que le fait précédent permet de prévoir, lorsque l'on soumet l'acide paratartrique formé par la combinaison, molécule à molécule, des deux acides tartriques, droit et gauche, à ce même mode de fermentation, l'acide paratartrique se dédouble en acide droit qui fermente et en acide gauche qui reste intact, de telle sorte que le meilleur moyen que je connaisse aujourd'hui pour isoler l'acide tartrique gauche consiste à dédoubler l'acide paratartrique par la fermentation [1].

1. *Voir* Pasteur, Mémoire sur la fermentation de l'acide tartrique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLVI, 1858, p. 615-618, et p. 25-28 du présent volume. (*Note de l'Édition*.)

Je dois ajouter que la nature des produits de la fermentation de l'acide tartrique, comparée à celle de nouveaux acides que j'ai rencontrés dans la fermentation du sucre ordinaire et jointe à des relations curieuses entre les formes cristallines du sucre candi et de l'acide tartrique droit, m'autorise à penser que le sucre candi a probablement la même constitution moléculaire que cet acide.

Ainsi se trouvent agrandies mes études antérieures, par ces phénomènes mystérieux de la fermentation, qui semblaient tout d'abord devoir m'en éloigner.

SUR LA FERMENTATION ALCOOLIQUE [1]

Lettre à M. Dumas.

Permettez-moi de vous faire connaître quelques résultats nouveaux sur la fermentation alcoolique. Ils se joignent à ceux que j'ai déjà eu l'honneur d'annoncer à l'Académie pour porter à voir dans le phénomène de la fermentation une complication bien différente de celle que nous avions l'habitude d'y admettre. Les uns et les autres témoignent du peu de rigueur de l'équation pondérale dont on avait supposé l'existence entre la quantité de sucre et la somme des poids de l'acide carbonique et de l'alcool.

En poursuivant mes études antérieures, j'ai trouvé que l'acide succinique était un des acides normaux de la fermentation alcoolique, c'est-à-dire que jamais il n'y avait fermentation alcoolique sans qu'il y eût production aux dépens du sucre d'une quantité d'acide succinique très notable, car elle s'élève au moins à $\frac{1}{2}$ pour 100 du poids du sucre fermenté.

Rien de plus facile, lorsqu'on est prévenu, que de la mettre en évidence, n'eût-on opéré que sur quelques grammes de matière fermentescible. Par exemple, que l'on évapore le liquide fermenté, qu'on le ramène à la neutralité et qu'on le précipite par un sel d'argent, le succinate lavé et décomposé par l'hydrogène sulfuré donne par évaporation des cristaux d'acide succinique. Plus simplement, que l'on traite à diverses reprises par l'éther l'extrait du liquide fermenté, et pendant l'évaporation de l'éther on verra sur les parois du vase des cristaux d'acide succinique se déposer peu à peu. Lorsque la cristallisation n'a pas lieu, c'est-à-dire lorsque l'acide succinique reste dissous dans le sirop d'acide lactique que laisse l'éther après son évaporation, il suffit de saturer les deux acides par la chaux. Le succinate de chaux insoluble dans l'alcool faible est facile à séparer du lactate.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 25 janvier 1858, XLVI, p. 179-180.

Si la thérapeutique venait jamais à trouver un emploi à cet acide dont la saveur a quelque chose d'individuellement étrange et dont la vapeur me paraît avoir sur l'économie une action des plus vives, je crois qu'il ne serait pas difficile d'aller le recueillir à peu de frais dans les résidus rejetés des distilleries.

J'ajouterai une dernière observation.

Si l'acide succinique est bien, comme je l'affirme, un produit normal, nécessaire, de la fermentation alcoolique, je devais le retrouver partout où cette fermentation s'est produite, par exemple dans le vin. Et en effet, ayant pris le vin naturel dont je me sers habituellement et qui est un vin du Jura, en ayant évaporé un litre, repris par l'éther, il se déposa, après vingt-quatre heures, dans le sirop d'acide lactique que l'évaporation de l'éther laissa pour résidu, une quantité très appréciable de cristaux d'acide succinique.

MÉMOIRE SUR LA FERMENTATION DE L'ACIDE TARTRIQUE[1]

Première partie. — De même qu'il existe un ferment alcoolique, la levûre de bière, que l'on trouve partout où il y a du sucre qui se dédouble en alcool et en acide carbonique, et qui est organisé d'après les observations de M. Cagniard de Latour, de même il y a une levûre lactique toujours présente quand du sucre devient acide lactique, et si toute matière plastique azotée peut transformer le sucre en cet acide, c'est qu'elle est pour le développement de ce ferment un aliment approprié à sa nature. Tel est le résultat d'un travail que j'ai eu l'honneur de communiquer à l'Académie dans la séance du 30 novembre dernier[2]. Je vais montrer que la fermentation de l'acide tartrique donne lieu à des conclusions tout à fait analogues.

On savait depuis longtemps, par des accidents de fabrication, que le tartrate de chaux brut, encore mêlé à des matières organiques et abandonné sous l'eau, pouvait fermenter. Un chimiste manufacturier, M. Nœllner, étudia les produits de cette fermentation, et y reconnut l'existence d'un acide qu'il crut nouveau, dont M. Nicklès[3] donna la composition exacte, et que MM. Dumas, Malaguti et Leblanc[4], dans leur beau travail sur les éthers cyanhydriques, trouvèrent identique avec l'acide métacétonique que M. Gottlieb avait obtenu en faisant agir la potasse sur le sucre.

Je ne m'occuperai pas aujourd'hui des substances qui résultent de la fermentation de l'acide tartrique. J'y reviendrai bientôt dans un travail spécial. Je dirai seulement que mes expériences ont porté sur le tartrate d'ammoniaque, et non sur le tartrate de chaux, et que ce changement dans la nature de la base en a amené dans la composition des produits, avec d'autres particularités fort curieuses, mais

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 29 mars 1858, XLVI, p. 615-618

2. *Voir* p. 14-17 du présent volume : Mémoire sur la fermentation appelée lactique.

3. Nicklès (J.). Sur un acide particulier résultant du tartre brut sous l'influence de la chaux et des ferments. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XXIII, 1846, p. 419-421.

4. Dumas, Malaguti et Leblanc. Sur l'identité des acides métacétonique et butyro acétique. *Ibid.*, XXV, 1847, p. 781-784. (*Notes de l'Édition.*)

dont le détail compliquerait l'étude de la cause du phénomène, à laquelle je veux m'attacher principalement dans la première partie de cette communication.

Voici comment j'opère :

Le tartrate d'ammoniaque pur est dissous dans de l'eau distillée à laquelle j'ajoute une matière albuminoïde azotée soluble dans l'eau, l'extrait d'un jus de plante, d'une humeur quelconque de l'économie animale, ou la partie soluble de la levûre de bière ordinaire. Il suffit que la solution tartrique en renferme 2 à 3 millièmes de son poids total. La liqueur, parfaitement limpide, est placée très chaude dans un flacon qu'elle remplit jusqu'au col, et, lorsque sa température est descendue a 30° environ, on ajoute quelques centimètres cubes du liquide trouble d'une bonne fermentation de tartrate en train depuis quelques jours, et provoquée, si l'on veut, à la manière ordinaire. La quantité de matière solide que l'on sème par cet artifice est tout à fait impondérable. Elle a pourtant une très grande influence. Si les conditions de température et de neutralité ou d'alcalinité légère du milieu sont bien observées, en quelques heures tout le liquide sera troublé, et la fermentation s'annoncera dès le lendemain par un dégagement gazeux.

Voici quelques caractères de la fermentation disposée comme je viens de le dire.

Le trouble de la liqueur et le dégagement de gaz augmentent peu à peu, et l'on voit un dépôt se former progressivement au fond du vase. Ce dépôt est excessivement minime par rapport au poids de tartrate. Comme dans toutes les fermentations, le dégagement gazeux diminue après avoir atteint un maximum. Il est d'ailleurs très facile de suivre, par l'examen optique de la liqueur, la transformation graduelle de l'acide tartrique en produits inactifs sur la lumière polarisée. La matière qui se dépose pendant la fermentation se montre au microscope formée de petites tiges ou de granulations d'un très petit diamètre, réunies en amas, en lambeaux irréguliers, et comme soudées par une substance glutineuse. Mais un examen plus attentif montre que cette réunion des granules est due probablement à un enchevêtrement de petits filaments constitués par les granulations disposées comme des grains de chapelet. Le diamètre des petites granulations ou globules est sensiblement le même que dans la levûre lactique et l'aspect général au microscope de ces deux productions offre de grandes analogies. Le dépôt dont il est ici question, lavé à grande eau et placé dans une solution de tartrate d'ammoniaque dans l'eau pure, en détermine la fermentation. Après quelques

heures de contact, on peut prouver qu'il y a du tartrate transformé, c'est-à-dire que la fermentation est à peu près immédiate.

Deuxième partie. — L'Académie se rappelle la constitution singulière de l'acide racémique. Elle sait qu'il est formé par la combinaison d'une molécule d'acide tartrique droit, qui est l'acide tartrique ordinaire, et d'une molécule d'acide tartrique gauche, qui ne diffère du droit que par l'impossibilité de superposer leurs formes, d'ailleurs identiques, et par le pouvoir rotatoire qui s'exerce à droite dans le premier, à gauche dans le second, exactement de la même quantité en valeur absolue. L'Académie sait, de plus, qu'il y a entre les propriétés chimiques de ces deux acides une identité telle qu'il est matériellement impossible de les distinguer, à moins toutefois qu'on ne les mette en présence de substances actives sur la lumière polarisée. Car alors toutes leurs manières d'être diffèrent essentiellement.

Il y avait donc un intérêt très grand à rechercher si l'acide racémique éprouverait la même fermentation que l'acide tartrique droit, en d'autres termes, si la levûre dont j'ai donné plus haut le mode de production transformerait l'acide tartrique gauche aussi facilement et de la même façon que l'acide tartrique droit. Le racémate d'ammoniaque fut mis en fermentation en suivant les indications que j'ai indiquées tout à l'heure pour le tartrate droit. La fermentation se déclara avec la même facilité, les mêmes caractères et dépôt de la même levûre. Mais en étudiant la marche du phénomène à l'aide de l'appareil de polarisation, on voit que les choses se passent tout autrement. Après quelques jours de fermentation, le liquide primitivement inactif possède un pouvoir rotatoire à gauche sensible, et ce pouvoir augmente progressivement à mesure que la fermentation se continue, de manière à atteindre un maximum. La fermentation est alors suspendue. Il n'y a plus trace d'acide droit dans la liqueur, qui, évaporée et mêlée à son volume d'alcool, donne immédiatement une abondante cristallisation de tartrate gauche d'ammoniaque.

Voilà sans doute un excellent moyen de préparer l'acide tartrique gauche. Mais tout l'intérêt du fait qui précède me paraît se rattacher au rôle physiologique de la fermentation qui se présente dans mes expériences comme un phénomène de l'ordre vital. En effet, nous voyons ici le caractère de dissymétrie moléculaire propre aux matières organiques intervenir dans un phénomène physiologique comme modificateur de l'affinité. Il n'est pas douteux que c'est le genre de dissymétrie propre à l'arrangement moléculaire de l'acide tartrique gauche qui est la cause unique, exclusive, de la non-fermentation de cet acide dans les conditions où l'acide inverse est détruit.

Assurément certaines idées philosophiques sur le concours nécessaire de toute chose à l'harmonie de l'univers permettent d'affirmer que le caractère si général de dissymétrie des produits organiques naturels joue un rôle dans l'économie végétale et animale. Mais la science veut autre chose que des vues *a priori*. Or, je remarque que, pour la première fois, dans le phénomène que je viens de faire connaître, le caractère de dissymétrie droite ou gauche des produits organiques intervient manifestement comme modificateur de réactions chimiques d'un ordre physiologique (1).

Quant à la cause intime de la différence que j'ai signalée entre la fermentation des deux acides tartriques, il me paraît vraisemblable de l'attribuer au pouvoir rotatoire des matières qui entrent dans la constitution de la levûre. On comprend que, si la levûre est naturellement constituée par des matières dissymétriques, elle ne s'accommodera pas à un degré égal d'un aliment qui lui-même sera dissymétrique dans le même sens ou en sens inverse : à peu près comme on a vu dans mes recherches antérieures le tartrate droit de quinine différer essentiellement du tartrate gauche de cette base qui est active, tandis que les tartrates droit et gauche de potasse ou de toute autre base inactive sont chimiquement identiques.

1. *Voir* à la fin du présent volume, Document I : Lettre manuscrite adressée par Pasteur à MM. Milne Edwards, Serres, Rayer, Flourens et Claude Bernard. (*Note de l'Édition.*)

PRODUCTION CONSTANTE DE GLYCÉRINE DANS LA FERMENTATION ALCOOLIQUE [1]

Lettre à M. Dumas.

Je vous prie de vouloir bien annoncer à l'Académie un résultat curieux et très inattendu. C'est la présence constante de la glycérine parmi les produits de la fermentation alcoolique. Ce n'est pas sans quelque réserve que j'indiquerai la proportion suivant laquelle elle y figure. Mieux que personne vous comprendrez qu'il n'est pas facile d'isoler entièrement cette matière à l'état de pureté. Cependant je crois pouvoir la fixer dès aujourd'hui à 3 pour 100 environ du poids du sucre. Cette proportion de glycérine dans les liquides fermentés, notamment dans le vin, surprendra tout le monde, autant peut-être que le fait lui-même de la présence de cette matière parmi les produits de la fermentation alcoolique. Ainsi que je vous le disais dans ma Lettre du 25 janvier [2], lorsque j'ai eu l'honneur de vous faire savoir que l'acide succinique est également un produit normal de la fermentation, il faut voir dans ce phénomène une complication bien différente de celle que nous avions l'habitude d'y admettre.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 3 mai 1858, XLVI, p. 857.
2. *Voir* p. 23-24 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

NOUVELLES RECHERCHES SUR LA FERMENTATION ALCOOLIQUE [1]

Contrairement à l'opinion généralement admise, je puis affirmer qu'il ne se forme pas la plus petite quantité d'acide lactique dans la fermentation alcoolique ; et toutes les fois qu'on y rencontre cet acide, il s'est accompli deux fermentations simultanées très distinctes. La fermentation alcoolique n'est accompagnée d'acide lactique que dans des circonstances rares et exceptionnelles, et lorsque des conditions particulières, susceptibles d'être reproduites à volonté, ont donné naissance à la levûre que j'ai fait connaître sous le nom de *levûre lactique.*

Cette nouvelle levûre étant formée de globules beaucoup plus petits que ceux de la levûre de bière, il est facile de savoir, à l'aide du microscope, s'il y a mélange des deux levûres, et par là même de prévoir la présence ou l'absence de l'acide lactique.

Une question s'offre naturellement : on sait, depuis Lavoisier, que dans la fermentation alcoolique, la liqueur prend toujours une réaction acide. Si l'acide lactique se forme exceptionnellement par le moyen que je viens d'indiquer, quelle est la cause de l'acidité constante de la liqueur ?

Des expériences multipliées me permettent d'assurer que c'est à l'acide succinique seul qu'est due l'acidité de la liqueur dans la fermentation alcoolique. La présence de cet acide n'est point accidentelle, mais constante, et si on laisse de côté les acides volatils qui se forment en quantités pour ainsi dire infiniment petites, on peut dire que l'acide succinique est le seul acide normal de la fermentation alcoolique. Quelles que soient les conditions dans lesquelles je me suis placé jusqu'à présent, j'ai trouvé l'acide succinique et la glycérine aussi constants que l'acide carbonique et l'alcool en ce qui a rapport à leur existence comme produits de la fermentation alcoolique.

Tout le monde comprendra les conséquences prochaines de ces résultats. Mais je dois être plus réservé que personne dans leur discussion.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 2 août 1858, XLVII, p. 224.

NOUVEAUX FAITS CONCERNANT L'HISTOIRE DE LA FERMENTATION ALCOOLIQUE (1)

Lettre à M. Dumas.

J'ai l'honneur de vous prier de vouloir bien communiquer à l'Académie un résultat nouveau auquel je suis arrivé en poursuivant mes recherches sur la fermentation alcoolique.

Tous les chimistes admettent que dans la fermentation alcoolique une partie de la levûre se détruit et donne naissance à de l'ammoniaque. M. Liebig s'autorise de ce fait pour asseoir son opinion sur la véritable cause de la fermentation. En étudiant cette question avec tous les soins qu'elle mérite, à l'aide des méthodes si précises que M. Boussingault a appliquées au dosage de très petites quantités d'ammoniaque, j'ai reconnu, contrairement à l'assertion que je viens de rappeler, que non seulement il ne se formait pas d'ammoniaque dans la fermentation alcoolique, mais que la très faible proportion de ce corps qui existe accidentellement à l'origine, dans les liqueurs disparaissait pendant l'opération. Cette dernière circonstance me surprit, et comme l'ammoniaque accidentelle de la liqueur primitive était en quantité très minime, j'en ajoutai directement afin de mieux étudier le phénomène. Je vis que l'ammoniaque ajoutée à l'état de sel d'ammoniaque pouvait disparaître également, et ne retrouvant pas l'azote de cette ammoniaque ajoutée parmi les divers produits de la fermentation, je cherchai naturellement si l'ammoniaque n'avait pas servi à former de la levûre.

C'est ainsi que je fus conduit aux résultats suivants, qui montrent toute la puissance d'organisation de la levûre et qui mettront fin, ce me semble, aux discussions sur sa nature.

Dans une solution de sucre pur, je place d'une part un sel d'ammoniaque, par exemple du tartrate d'ammoniaque, d'autre part la matière

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 20 décembre 1858, XLVII, p. 1011-1013.

minérale qui entre dans la composition de la levûre de bière, puis une quantité pour ainsi dire impondérable de globules de levûre frais. Chose remarquable, les globules semés dans ces conditions se développent, se multiplient et le sucre fermente, tandis que la matière minérale se dissout peu à peu et que l'ammoniaque disparaît. En d'autres termes, l'ammoniaque se transforme dans la matière albuminoïde complexe qui entre dans la constitution de la levûre, en même temps que les phosphates donnent aux globules nouveaux leurs principes minéraux. Quant au carbone, il est évidemment fourni par le sucre.

Vient-on à supprimer dans la composition du milieu, soit la matière minérale, soit le sel d'ammoniaque, soit ces deux principes à la fois, les globules semés ne se multiplient pas du tout, et il ne se manifeste aucun mouvement de fermentation. On peut se servir de sels d'ammoniaque à acides minéraux ou organiques. Les phosphates peuvent être empruntés aux cendres de la levûre ordinaire, ou à des précipités ayant une origine purement minérale. Le phosphate double de magnésie et d'ammoniaque peut servir et comme source de matière minérale de la levûre et comme source de matière albuminoïde. Cependant on observe des différences d'énergie très sensibles dans la levûre formée, suivant qu'on lui donne un aliment plus ou moins bien approprié à sa véritable nature. Je suivrai tous ces faits avec beaucoup d'attention.

SUR LA FERMENTATION ALCOOLIQUE [1]

M. Pasteur entretient la Société des recherches qu'il poursuit sur la fermentation alcoolique. Il rappelle les résultats auxquels il est arrivé en semant des globules de levûre frais dans de l'eau sucrée à laquelle on avait ajouté préalablement un peu d'un sel neutre d'ammoniaque et des phosphates. L'influence et le rôle séparés du sucre, de l'ammoniaque et des phosphates, dans ces expériences, sont bien nettement accusés par le fait de l'entrave absolue apportée à l'accomplissement des phénomènes, lorsque l'on vient à supprimer, dans la composition du milieu, soit le sucre, soit l'ammoniaque, soit la matière minérale.

Mais quel est au juste le rôle de la semence? Lors même qu'en la supprimant on aurait vu de la levûre se former spontanément et le sucre fermenter, il n'y aurait eu là rien qui dût surprendre. Tout le monde sait, par exemple, que du moût de raisin filtré se trouble en quelques heures avec dépôt de levûre et que la fermentation se produit.

Mais dans les expériences de M. Pasteur les choses se sont passées différemment.

En abandonnant à une température convenable de l'eau sucrée mêlée d'un sel d'ammoniaque et de phosphates, le liquide se trouble; en vingt-quatre heures, une ou plusieurs fermentations corrélatives se manifestent, et il y a dépôt d'une ou plusieurs levûres, parmi lesquelles notamment la levûre lactique. Mais il ne s'est pas formé du tout de levûre de bière, et il n'y a pas eu fermentation alcoolique. La fermentation se ralentit peu à peu, sans doute à cause de l'acidité que prend la liqueur.

M. Pasteur a rendu le milieu neutre par du carbonate de chaux, et il a vu alors la fermentation continuer et s'achever avec tous les caractères des fermentations lactique et butyrique.

Une circonstance particulière mérite de fixer l'attention sur ces expériences, c'est que des infusoires se forment souvent en grande quantité et dès l'origine, à tel point qu'il y a lieu de se demander si ces infusoires ne se nourrissent pas directement d'ammoniaque et de phosphates, question très délicate, sur laquelle M. Pasteur ne veut pas se prononcer encore. Quoi qu'il en soit, ce n'est pas sans un vif étonnement que l'on voit, après quelques jours, un abondant dépôt de matière végétale et animale formé au sein d'un milieu sucré mélangé de quelques millièmes de phosphates et d'ammoniaque.

1. *Bulletin de la Société chimique de Paris*, 1858-1860, séance du 11 janvier 1859, p. 8-9 (*Résumé*.)

NOUVEAUX FAITS POUR SERVIR
A L'HISTOIRE DE LA LEVURE LACTIQUE (1)

(Lettre à M. Dumas.)

Dans un Mémoire que j'ai eu l'honneur de communiquer il y a quelques mois à l'Académie (2), je suis arrivé à cette conclusion que, de même qu'il existe un ferment alcoolique, la levûre de bière, que l'on trouve partout où il y a du sucre qui se dédouble en alcool et en acide carbonique, de même il y a un ferment particulier, une levûre lactique, toujours présente quand du sucre devient acide lactique, et que si toute matière plastique azotée peut transformer le sucre en cet acide, c'est qu'elle est pour le développement de ce ferment un aliment convenable (3).

Cette nouvelle levûre, constituée par des globules ou mieux par des articles très courts, un peu renflés aux extrémités, de $\frac{1}{600}$ de millimètre de diamètre environ, a tous les caractères généraux de la levûre de bière, mais dans aucun cas elle ne dédouble le sucre en alcool et en acide carbonique. Le principal produit de son action est l'acide lactique, et je vous ai annoncé depuis longtemps que dans la fermentation par la levûre de bière il ne se formait pas la plus petite quantité de cet acide.

Cette levûre lactique est-elle organisée à la façon de la levûre de bière? Ne serait-elle pas un précipité de matière azotée ayant la propriété d'agir sur le sucre par sa nature chimique, par son contact, comme l'aurait dit Berzelius, ou par un phénomène de mouvement communiqué, comme s'exprimerait M. Liebig? Assurément rien ne

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 14 février 1859, XLVIII, p. 337-338.

2. Pasteur. Mémoire sur la fermentation appelée lactique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLV, 1857, p. 913-916 et p. 14-17 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

3. Non seulement mes recherches ultérieures ont confirmé l'exactitude de ces conclusions de mon premier travail, mais j'ai reconnu qu'il existait un grand nombre de levûres distinctes ayant toutes leur spécialité d'action. La grande difficulté est de les isoler et de trouver les conditions appropriées au développement exclusif de chacune d'elles.

démontre mieux l'organisation de la levûre de bière que les expériences sur la multiplication des globules de levûre dans une eau sucrée mêlée à une petite quantité d'ammoniaque et de phosphates alcalins et terreux, expériences que vous avez bien voulu faire connaître récemment à l'Académie [1].

Il résulte de là que si les mêmes essais pouvaient réussir avec la levûre lactique, il serait également bien difficile de mettre en doute le fait de son organisation déjà si vraisemblable, et par l'aspect microscopique de cette levûre, et par ses frappantes analogies avec la levûre de bière.

Tels sont précisément les résultats que j'ai l'honneur de vous prier de communiquer à l'Académie, ainsi que les particularités remarquables qui les accompagnent.

Je mêle à de l'eau sucrée pure une petite quantité d'un sel d'ammoniaque, des phosphates et du carbonate de chaux précipité. Après vingt-quatre heures, la liqueur commence à se troubler et un dégagement de gaz a lieu; la fermentation continue les jours suivants, l'ammoniaque disparaît, les phosphates et le sel calcaire se dissolvent, du lactate de chaux prend naissance, et corrélativement on voit se déposer de la levûre lactique, le plus ordinairement associée à des infusoires. Souvent aussi la liqueur se charge de butyrate de chaux. En un mot, on a tous les caractères de la fermentation lactique, bien définie autrefois par M. Fremy, dans les conditions générales de son existence; et ce n'est pas sans surprise que l'on voit un abondant dépôt de matière végétale et animale dans une liqueur qui ne renfermait primitivement d'autre produit azoté qu'un sel d'ammoniaque.

Si l'on supprime le carbonate de chaux, les choses se passent de la même manière, sans qu'il se forme la moindre quantité de levûre de bière, mais seulement de la levûre lactique et quelques infusoires, que l'acidité croissante du milieu fait périr promptement. D'ailleurs la fermentation est très pénible dans ces conditions et ne tarde pas à s'achever, probablement aussi par suite de l'acidité que prend la liqueur.

Quant à l'origine de la levûre lactique, dans ces expériences, elle est due uniquement à l'air atmosphérique; nous retombons ici dans les faits de générations spontanées. Si l'on supprime tout contact avec l'air commun, ou si l'on porte à l'ébullition le mélange de sucre, de sel d'ammoniaque, de phosphates et de craie pour n'y laisser rentrer

1. PASTEUR. Nouveaux faits concernant l'histoire de la fermentation alcoolique; lettre à M. Dumas. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 20 décembre 1858, XLVII, p. 1011-1013 et p. 31-32 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

que de l'air chauffé au rouge, il ne se forme ni levûre lactique, ni infusoires, ni fermentation quelconque.

Vous remarquerez, Monsieur, que dans les expériences précédentes la vie végétale et animale a pris naissance dans du sucre candi pur, substance cristallisable, mêlée à un sel d'ammoniaque et à de la matière minérale, c'est-à-dire dans un milieu où il n'y avait aucun produit ayant eu antérieurement une organisation quelconque.

Sur ce point la question de la génération spontanée a fait un progrès [1].

1. *Voir*, à la fin du présent volume, Document III : Lettre manuscrite de Pasteur à Pouchet, en réponse à une lettre de Pouchet au sujet de cette Note à l'Académie des sciences. (*Note de l'Édition.*)

[NOTE SUR LA FERMENTATION NITREUSE] (1)

Dans les fabriques d'alcool par la distillation des jus fermentés de la betterave, on observe quelquefois un phénomène particulier appelé par les distillateurs fermentation nitreuse. Les nitrates que renferme naturellement le jus de la betterave se décomposent, et il se forme de grandes quantités de vapeur nitreuse à la surface des cuves.

Il résulte de la communication de M. Pasteur qu'il n'existe pas de fermentation nitreuse proprement dite, et que ce phénomène est occasionné par la production accidentelle d'une levûre identique à la nouvelle levûre que M. Pasteur a fait connaître sous la dénomination de levûre lactique dans plusieurs communications à l'Académie.

M. Pasteur dépose sur le bureau de la Société un flacon renfermant de la levûre d'une cuve à fermentation nitreuse, dans laquelle on voit de la manière la plus nette le mélange des deux levûres alcoolique et lactique.

Parmi les produits de l'action de la levûre lactique sur les sucres se trouve ordinairement l'hydrogène. Il n'est donc guère possible de douter que la vapeur nitreuse ait pour origine la réduction par l'hydrogène des nitrates de la betterave.

La cause que M. Pasteur assigne à la fermentation nitreuse laisse peu d'espoir de trouver un agent [qui ne soit pas] capable d'entraver en même temps la marche de la fermentation alcoolique. Tant que la levûre lactique existera dans le liquide, elle y vivra si la levûre de bière peut y vivre elle-même, et elle y produira les phénomènes qui sont corrélatifs de son développement et de sa multiplication.

La meilleure précaution, d'après M. Pasteur, consistera à détruire l'action de la levûre lactique dès la première apparition du phénomène, en portant le liquide de la cuve à l'ébullition : c'est-à-dire qu'il faudra le distiller pour le faire rentrer ensuite comme jus sucré dans le travail. La levûre alcoolique et la levûre lactique qu'il renferme en suspension, détruites par cette élévation de température, ne s'opposeront pas à l'emploi renouvelé du liquide sucré.

1. *Bulletin de la Société chimique de Paris*, 1858-1860, séance du 11 mars 1859, p. 22-23.

NOUVEAUX FAITS
CONCERNANT LA FERMENTATION ALCOOLIQUE [1]

Lettre à M. Dumas.

En continuant mes recherches sur la fermentation alcoolique, je suis arrivé à des faits inattendus qui me paraissent jeter une vive clarté sur les causes intimes de ce mystérieux phénomène. Tout le monde sait qu'il faut très peu de levûre de bière pour faire fermenter un poids de sucre relativement considérable. Augmente-t-on la dose de la levûre, rien n'est changé si ce n'est la rapidité de la transformation du sucre. J'ai reconnu que l'on pouvait accroître beaucoup la quantité de levûre strictement nécessaire sans troubler les rapports qui existent entre les poids d'alcool, d'acide carbonique, de glycérine et d'acide succinique.

Mais si l'on va bien au delà de ces doses que je ne puis indiquer ici que d'une manière générale, par exemple, si l'on emploie 50, 100, 200 fois... la proportion de levûre minimum, on observe des résultats remarquables. Le sucre disparaît d'abord avec une rapidité surprenante, ce qu'il était facile de prévoir; puis, lorsqu'il est entièrement détruit, la fermentation ne s'arrête pas, le dégagement d'acide carbonique continue avec une grande activité et en même temps la formation de l'alcool. L'intensité de cette fermentation secondaire augmente avec l'excès de la levûre employée, et par elle il est facile de porter le volume d'acide carbonique à deux et trois fois le volume total de gaz que peut fournir le poids de sucre mis en expérience.

Permettez-moi d'entrer ici dans quelques détails.

J'ai dû renoncer provisoirement, pour les expériences de mesure principalement, à opérer sur de grandes quantités de sucre. La violence de la fermentation est telle, qu'il faudrait, pour contenir la

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 28 mars 1859, XLVIII, p. 640-642.

mousse, des vases d'une dimension exagérée. Je me suis servi de ballons renversés, pleins de mercure, dans lesquels j'introduisais successivement le sucre, la levûre et l'eau. Voici deux expériences extrêmes :

I. 1 gr. 442 de sucre candi sont mis à fermenter avec 2 grammes de levûre (poids de matière sèche). Cinq jours après, le volume total du gaz ramené à 0° et à 76 centimètres de pression est égal à 387 cc. 5. La quantité théorique est 375 cc. 5. L'excès est donc de 12 centimètres cubes, auxquels il faut ajouter le volume d'acide carbonique correspondant à la glycérine et à l'acide succinique... L'excès réel est de 30 centimètres cubes environ.

II. 0 gr. 424 de sucre candi sont mis à fermenter avec 10 grammes de levûre (poids de matière sèche). Le surlendemain, le volume total du gaz acide carbonique (lequel est complètement absorbable par les alcalis) s'élève à 300 centimètres cubes, près de trois fois supérieur au volume théorique qui n'est que de 110 centimètres cubes pour 0 gr. 424 de sucre. J'ai en outre recueilli par distillation plus de 0 gr. 6 d'alcool.

L'interprétation de ces résultats ne me paraît guère douteuse. La levûre, formée à peu près exclusivement de globules arrivés à leur développement normal, adultes, si je puis m'exprimer ainsi, est mise en présence du sucre : sa vie recommence, elle donne des bourgeons. S'il y a assez de sucre dans la liqueur, les bourgeons se développent, assimilent du sucre et la matière albuminoïde soluble des globules mères. Ils arrivent ainsi peu à peu au volume que nous leur connaissons.

Voilà ce qui se passe dans les fermentations lentes ordinaires. Y a-t-il au contraire un poids de sucre de beaucoup insuffisant pour amener les premiers bourgeonnements à l'état de globules complets, on se trouve alors dans le cas des expériences que je viens de rapporter, et l'on a affaire à une levûre dont les globules sont, en quelque sorte, des globules mères ayant tous de très jeunes petits. La nourriture extérieure venant à manquer, les jeunes bourgeons vivent alors aux dépens des globules mères.

J'ai peine à me représenter autrement ces curieux phénomènes, et rien ne saurait mieux établir, ce me semble, non seulement que la levûre est organisée, mais que le dédoublement du sucre est intimement lié à la vie des globules ; ou, pour préciser ma pensée, la fonction physiologique des globules de levûre, véritables cellules vivantes, est de donner de l'acide carbonique, de l'alcool, de la glycérine et de l'acide succinique, au fur et à mesure qu'ils se repro-

duisent eux-mêmes, et que s'accomplissent les diverses phases de leur existence.

Mais je me hâte de rentrer dans l'exposition pure et simple des faits. Puisque la fermentation alcoolique dans les expériences précédentes continue, très active, alors même qu'il n'y a plus la moindre quantité de sucre employé, quelle est donc, dans la levûre, la matière glycogène qui se transforme progressivement en sucre aussitôt dédoublé qu'il est produit? Tout le monde répondra, en s'appuyant sur les conclusions acquises autrefois à la science par les belles recherches de M. Payen, que la matière glycogène est très probablement la cellulose des globules. L'expérience a vérifié ces prévisions au delà de mes espérances. J'ai reconnu, en effet, qu'il suffisait de faire bouillir pendant quelques heures seulement la levûre de bière ordinaire avec de l'acide sulfurique très étendu d'eau, suivant les indications de M. Pelouze, pour transformer en sucre immédiatement et facilement fermentescible plus de 20 pour 100 du poids de la levûre prise à l'état sec. Ici même se placent des faits remarquables. Cependant, pour ne pas compliquer sans utilité immédiate cette communication, je vous demande la liberté de vous en faire part ultérieurement.

NOUVEAUX FAITS RELATIFS A LA FERMENTATION ALCOOLIQUE; CELLULOSE ET MATIÈRES GRASSES DE LA LEVURE CONSTITUÉES AUX DÉPENS DU SUCRE [1]

Lettre à M. Dumas.

Permettez-moi de vous faire connaître quelques résultats nouveaux sur la fermentation alcoolique, en vous priant de vouloir bien les communiquer à l'Académie.

Je prends deux poids égaux d'une même levûre. Je détermine la quantité totale de matière hydrocarbonée que renferme l'une des portions. Je fais de même pour l'autre, mais seulement après l'avoir mise à fermenter avec un poids de sucre convenable, dans les rapports ordinaires de la fermentation alcoolique. Le résultat est celui-ci : Le poids total de cellulose est sensiblement plus considérable après qu'avant la fermentation. Voici une expérience :

2 gr. 626 de levûre brute, renfermant 0 gr. 532 de matière hydrocarbonée, transformable en sucre fermentescible, ont donné, après avoir dédoublé 100 grammes de sucre, 0 gr. 918 d'une pareille substance.

L'excès, qui est variable avec les proportions des matières dont on se sert, est ici de 0 gr. 386 pour une fermentation de 100 grammes de sucre.

En conséquence, il est prouvé que, dans la fermentation alcoolique ordinaire, une partie du sucre se fixe sur la levûre sous forme de matière hydrocarbonée. Tout le monde devait être porté à croire qu'il en était ainsi, mais aucune expérience, même éloignée, ne l'avait établi, sinon celles que j'ai publiées sur la multiplication de la levûre dans un milieu formé uniquement de sucre, d'ammoniaque et de phosphates.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 11 avril 1859, XLVIII, p. 735-737.

En rapprochant ces dernières expériences de celles que je viens de vous faire connaître, il est permis de conclure que toute la cellulose de la levûre a pour origine le sucre, quelles que soient les conditions de la fermentation. Ainsi, de même que dans la germination nous voyons le sucre fournir la cellulose des organes en voie de formation, de même la partie ligneuse des cellules de levûre se constitue avec du sucre, dont elles transforment la plus grande partie en divers produits corrélativement à l'élaboration de leurs nouveaux tissus.

N'est-il pas très curieux, lorsque l'on considère la grande analogie de composition des cellules de levûre et des cellules de tous les jeunes organes des plantes, de voir que les cellules de levûre peuvent se former entièrement avec du sucre, de l'ammoniaque et des phosphates, trois sortes de matériaux que l'on trouve dans toutes les sèves des plantes.

J'ai cru devoir insister sur ces faits et ces rapprochements, parce qu'ils tendent à nous convaincre de plus en plus de l'analogie offerte par les plus jeunes cellules des plantes avec les cellules de levûre, et à faire croire à l'existence dans ces dernières d'une fonction physiologique déterminée. Le résultat suivant vient encore à l'appui de ces considérations.

Vous savez que depuis longtemps on a constaté la présence de matières grasses dans la levûre. Chacun pense qu'elles sont empruntées aux substances grasses de l'orge ou des autres corps qui servent à préparer la levûre. Les jeunes cellules des plantes renferment aussi des matières grasses. Or, j'ai reconnu par une expérience directe, très facile à reproduire, que, pendant la fermentation, la levûre forme elle-même sa graisse à l'aide des éléments du sucre. Je mêle à de l'eau sucrée, préparée avec du sucre candi très pur, une matière albuminoïde traitée à plusieurs reprises par l'alcool et l'éther; à la solution mixte j'ajoute, comme semence, une quantité, pour ainsi dire impondérable, de globules de levûre frais. Ils se multiplient, le sucre fermente et j'arrive de cette façon à préparer quelques grammes de levûre au moyen de substances ne contenant pas la plus petite quantité de matières grasses. Or, je trouve que la levûre formée dans ces conditions renferme néanmoins plus de 1 pour 100 de son poids de corps gras. Ces derniers ne peuvent provenir que des éléments du sucre ou des éléments de la matière albuminoïde; mais j'ai constaté d'autre part que la levûre préparée avec du sucre, de l'ammoniaque et des phosphates renferme également de la matière grasse. C'est donc aux éléments du sucre que la matière grasse de la levûre est empruntée.

Ces expériences rappellent, par leur disposition, celles que vous

avez autrefois instituées en commun avec M. Milne Edwards pour vérifier les observations de Huber sur l'origine de la cire des abeilles.

Quant au résultat définitif, je pense qu'il aura pour vous un intérêt particulier, par la confirmation qu'il apporte à des vues que vous avez émises depuis longtemps sur la formation de la graisse chez les végétaux.

NOTE [1]
A PROPOS DES « REMARQUES SUR LA FERMENTATION ALCOOLIQUE DE LA LEVURE DE BIÈRE » PRÉSENTÉES PAR M. BERTHELOT] [2]

M. Berthelot a publié sur la fermentation un Mémoire où il a donné de nouvelles preuves de sa sagacité habituelle. De mon côté, depuis trois années, j'ai fait de ce beau sujet l'objet constant de mes études. Suivant la même route, M. Berthelot et moi nous aurions pu nous rencontrer. On le croirait bien, à lire la réclamation qu'il vient de présenter à l'Académie sur la Note que j'ai eu l'honneur de communiquer à ce corps savant dans sa séance du 28 mars [3]; car cette réclamation commence ainsi : « M. Pasteur a décrit des observations d'après lesquelles la levûre de bière peut fermenter et fournir de l'alcool; il a rattaché cette formation d'alcool à la présence dans la levûre d'un principe transformable en sucre par l'action des acides; ce sont là deux résultats que j'avais déjà obtenus (*Comptes rendus*, XLIII, 1856, p. 238, et *Annales de chimie et de physique*, 3e série, L, 1857, p. 368). »

Nous verrons tout à l'heure si tel est le résumé de mes expériences.

Reportons-nous d'abord aux pages de ces recherches auxquelles M. Berthelot nous renvoie. Ce que M. Berthelot a écrit sur la levûre étant très court, je puis le reproduire textuellement sans allonger trop ma réponse.

« Ayant essayé, dit-il, si les diverses matières azotées, telles que : albumine, fibrine, caséine, gluten, tissu pancréatique, gélatine, colle de poisson, levûre de bière, abandonnées soit avec de l'eau et de la craie, soit avec de l'eau, de la craie et du tissu pancréatique ou testi-

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 11 avril 1859, XLVIII, p. 737-740.

2. Berthelot. Remarques sur la fermentation alcoolique de la levûre de bière. *Ibid.*, séance du 4 avril 1859, XLVIII, p. 691-692.

3. Pasteur. Nouveaux faits concernant la fermentation alcoolique. *Ibid.*, XLVIII, p. 640-642, et p. 38-40 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

culaire, à la température de 40°, pouvaient fournir de l'alcool, j'ai obtenu des résultats négatifs avec la fibrine, les tissus pancréatique et testiculaire, la gélatine, la colle de poisson et l'albumine coagulée.

« L'albumine brute, la caséine, le gluten et la levûre de bière ont quelquefois fourni un peu d'alcool ; mais la formation de cet alcool ne paraît pas due aux principes azotés eux-mêmes, mais aux matières sucrées, amylacées ou ligneuses dont ils se trouvent mélangés par accident ou par nécessité...

« Quant à la levûre de bière, elle renferme une matière non colorable par l'iode, probablement de nature ligneuse, transformable en sucre sous l'influence des acides, et en alcool sous les influences que j'ai définies : la proportion de cet alcool peut s'élever à plus de 1 centième du poids de la levûre (1). »

Afin de bien apprécier la nouveauté de ces résultats de M. Berthelot, il est indispensable de rappeler ce qui était du domaine public depuis nombre d'années.

Payen, 1839, *Mémoires des savants étrangers* (2). — La levûre renferme :

Matières azotées (3)	62,73
Enveloppes de cellulose	29,37
Substances grasses	2,10
Matières minérales	5,80
	100,00.

Schlossberger, *Annales allemandes de chimie et de pharmacie* (4). — M. Payen avait donné l'analyse que je viens de rapporter et avait montré que la potasse pouvait facilement dissoudre les matières azotées des jeunes organes des végétaux. M. Schlossberger utilise cette action de la potasse, isole les 29 pour 100 de cellulose indiqués par M. Payen, analyse le résidu, montre que par l'acide sulfurique il donne du sucre, que ce sucre fermente, etc.

En résumé, depuis plus de quinze et vingt ans, la science est en possession de ce résultat que la levûre de bière, purifiée par des lavages, renferme de la cellulose qui a été isolée et transformée en sucre fermentescible.

Le progrès dû à M. Berthelot serait donc d'avoir montré que la levûre, que l'on savait depuis 1839 renfermer 29 pour 100 de cellulose,

1. *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., L. 1857, p. 366-367 et p. 368.

2. PAYEN. Mémoires sur les développements des végétaux. 3e Mémoire : Cellulose Lu en 1839. *Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des sciences*, IX, 1846, p. 32.

3. Dans le mémoire de Payen : « Matières azotées et traces de soufre... »

4. SCHLOSSBERGER (J.). Ueber die Natur der Hefe, mit Rücksicht auf die Gährungserscheinungen. *Annalen der Chemie und Pharmacie*, LI, 1844, p. 200. *(Notes de l'Édition.)*

transformable en sucre fermentescible, abandonnée plusieurs semaines sous l'eau à 40° avec son poids de craie, donne, par le fait de la présence de cette cellulose, 1 pour 100 de son poids d'alcool.

Je reviendrai tout à l'heure sur la valeur de ce résultat.

Comparons-le auparavant à l'expérience de ma Note du 28 mars qui a soulevé la réclamation de M. Berthelot.

Que l'on prenne 10 grammes de levûre lavée (poids de matière sèche), et très peu de sucre, par exemple 3 à 4 décigrammes, que l'on introduise ces matières dans un vase sous le mercure à la température de 25 à 30°. Après douze ou vingt-quatre heures, il n'y aura plus trace de sucre, et cependant la fermentation alcoolique continuera avec une telle rapidité que, dans les douze ou vingt-quatre heures suivantes, il se fera deux et trois fois plus d'acide carbonique et d'alcool qu'il ne s'en est formé dans les premières heures, alors que la levûre vivait avec du sucre.

En d'autres termes, mêlez à de la levûre, non pas une quantité de sucre qui puisse l'épuiser, mais un poids de sucre proportionnellement faible, et après que la levûre aura dédoublé ce sucre, son activité continuera, s'exerçant sur ses propres tissus avec une énergie et une rapidité extraordinaires qui vont se ralentissant de plus en plus. Il ne se forme ni levûre lactique, ni infusoires; l'acide carbonique est pur, sans mélange d'hydrogène.

Quel est donc le rapport entre mon expérience dont les résultats et les conditions me paraissent si nouveaux, et le fait brut de la production d'un peu d'alcool dans un mélange de craie et de levûre de bière abandonné pendant plusieurs semaines, sous l'eau, à la température de 40°, dans des conditions d'altération et sans doute de putréfaction que M. Berthelot ne spécifie aucunement?

Bien plus : je cherche même où est la nouveauté du résultat de M. Berthelot. M. Payen, en effet, nous apprend que la levûre est formée de 29 parties de cellulose contre 62 de matières azotées. Quoi de plus simple qu'un tel mélange, abandonné à lui-même pendant plusieurs semaines, puisse fournir de l'alcool? N'y a-t-il pas dans tous les ouvrages un procédé de Chaptal pour faire de l'alcool et du vinaigre, qui consiste à abandonner quelques jours avec de l'eau un mélange de levûre et d'une matière hydrocarbonée insoluble, l'amidon? La levûre, d'après l'analyse de M. Payen, ne porte-t-elle pas avec elle un mélange de cette nature?

Après avoir découvert le fait qui résume ma Note du 28 mars, je me suis demandé comment il était possible d'expliquer qu'une fermentation alcoolique pût se produire postérieurement à la disparition

complète du sucre. J'ai répondu qu'il fallait en reporter le mérite à M. Payen, qui, le premier, a annoncé la présence de la cellulose dans la levûre et qui même en a donné la proportion à peu près exacte, ainsi que je le montrerai par des recherches ultérieures.

M. Berthelot termine ainsi sa Note : « Quant aux opinions vitalistes adoptées par M. Pasteur sur les causes réelles des changements chimiques opérés dans la fermentation alcoolique, je ne crois pas le moment venu de les discuter avec le développement qu'elles méritent. »

Je suis, sur ce point, entièrement de l'avis de M. Berthelot. Nos écrits et nos conversations particulières nous ont assez appris combien nous différions sur l'interprétation des faits, et, s'il croyait le moment venu de discuter les vues qui m'inspirent, il sait bien qu'il ne me convaincrait pas. Je n'aurais pas davantage la prétention de lui faire abandonner ses principes. Conservons donc chacun l'indépendance de nos vues, et, en attendant le moment de la discussion, suivons le précepte de Buffon : Amassons des faits pour avoir des idées.

MÉMOIRE SUR LA FERMENTATION ALCOOLIQUE

(EXTRAIT PAR L'AUTEUR) [1]

Lorsque les analyses exactes de Gay-Lussac et Thenard et celles de de Saussure eurent fixé définitivement la composition du sucre et de l'alcool, il devint facile de voir théoriquement qu'en ajoutant de l'alcool et de l'acide carbonique on pouvait reproduire la composition du sucre; c'est ce que Gay-Lussac fit remarquer dans une lettre très instructive qu'il adressa à M. Clément en 1815, lettre qui se termine ainsi : « Si l'on suppose maintenant que les produits que fournit le ferment puissent être négligés relativement à l'alcool et à l'acide carbonique, qui sont les seuls résultats sensibles de la fermentation..... on trouvera qu'étant données 100 parties de sucre, il s'en convertit, pendant la fermentation, 51,34 en alcool et 48,66 en acide carbonique [2] ». Cette déduction théorique de Gay-Lussac coïncidait avec les vues que Lavoisier avait publiées vingt-cinq ans auparavant sur la fermentation alcoolique, et elle éloigna tous les doutes que n'auraient pas manqué de soulever tôt ou tard les expériences inexactes de cet illustre chimiste.

On admettait cependant que l'expérience ne pouvait justifier en tout point les théories de Gay-Lussac, car Lavoisier avait justement indiqué qu'une petite portion du sucre se transformait en un acide organique qu'il croyait être de l'acide acétique, mais que l'on s'accordait depuis longues années à identifier avec l'acide lactique.

Les résultats de mes recherches sont en désaccord sensible avec les opinions généralement admises sur les produits de la fermentation :

1°. L'acide de la fermentation alcoolique n'est dans aucun cas de l'acide acétique ou de l'acide lactique.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 27 juin 1859, XLVIII, p. 1149-1152.

2. Gay-Lussac. Lettre à M. Clément sur l'analyse de l'alcool et de l'éther sulfurique, et sur les produits de la fermentation. *Annales de chimie*, XCV, 1815, p. 318.

2°. L'alcool et l'acide carbonique ne sont pas les seuls produits du dédoublement du sucre. Il s'y joint constamment de l'acide succinique et de la glycérine. Les proportions de l'acide succinique varient entre 5 et 7 millièmes, celles de la glycérine entre 25 et 36 millièmes du poids du sucre mis en fermentation.

3°. L'alcool et l'acide carbonique ne forment pas équation avec un poids déterminé de sucre; c'est-à-dire que l'alcool et l'acide carbonique ne sont pas dans les rapports indiqués par l'équation théorique : il se dégage plus d'acide carbonique que n'en exige le poids d'alcool produit.

4°. Plus de 1 pour 100 du poids du sucre (1,2 à 1,5) se fixe sur la levûre à l'état de matières diverses parmi lesquelles j'ai reconnu la cellulose et les substances grasses.

En résumé, sur 100 grammes de sucre qui fermentent, 5 à 6 grammes ne suivent pas l'équation de Lavoisier et de Gay-Lussac, et cette portion du sucre se transforme en assimilant de l'eau, de manière à fournir dans les cas les plus ordinaires :

	gr.		gr.
Acide succinique	0,6	à	0,7
Glycérine	3,2	à	3,6
Acide carbonique	0,6	à	0,7
Cellulose, matières grasses et autres produits encore indéterminés	1,2	à	1,5
Total	5,6	à	6,5.

Le reste du sucre paraît former équation avec tout l'alcool et le surplus de l'acide carbonique suivant les rapports de l'égalité de Lavoisier et de Gay-Lussac.

Il se présente ici une question pleine d'intérêt. Nous venons de voir que l'acte chimique de la fermentation n'a pas la simplicité qu'on lui avait accordée jusqu'à présent. L'équation possible entre le sucre d'une part, l'alcool et l'acide carbonique de l'autre, avait fait illusion; mais la complication apportée par les résultats de mon travail n'est-elle pas plus apparente que réelle? Ne peut-on pas admettre que l'acide succinique, la glycérine et l'acide carbonique qui les accompagne sont les résultats d'une action secondaire, accidentelle?

L'habitude que nous avons d'envisager le phénomène de la fermentation alcoolique avec une grande simplicité portera beaucoup de personnes à croire que la glycérine et l'acide succinique sont des produits accessoires de la fermentation alcoolique, peut-être corrélatifs d'une autre fermentation parallèle accomplie sous une influence particulière et inconnue; que le phénomène principal reste le même, et que l'on peut continuer à regarder le sucre comme se dédoublant

réellement pour la meilleure part en alcool et en acide carbonique, d'après les rapports simples de l'équation de Lavoisier et de Gay-Lussac.

Sans nul doute je m'arrêterais à cette manière de voir si j'avais pu dans quelques cas particuliers faire fermenter un sucre sans qu'il y eût production d'acide succinique et de glycérine. Mais dans plus de cent analyses de fermentations effectuées dans les conditions les plus différentes, je n'ai jamais obtenu ce résultat; j'ai vu quelquefois diminuer ou augmenter les proportions de ces deux produits sans que leur rapport change dans la limite d'exactitude de mes procédés analytiques, mais dans aucun cas ils n'ont disparu.

Je suis donc très porté à voir dans l'acte de la fermentation alcoolique un phénomène simple, unique, mais très complexe comme peut l'être un phénomène corrélatif de la vie, donnant lieu à des produits multiples tous nécessaires.

L'Académie apprendra peut-être avec intérêt l'application que j'ai faite des résultats qui précèdent à l'analyse des vins. Comme chacun le sait, le vin est le moût sucré du raisin qui a subi la fermentation alcoolique. L'acide succinique et la glycérine étant des produits constants de cette fermentation, je devais les retrouver dans le vin. Ils y existent, en effet, dans une proportion notable. On sera surpris d'apprendre qu'un litre de vin renferme 6 à 8 grammes de glycérine et 1 gramme à 1 gr. 5 d'acide succinique.

Le résidu solide de l'évaporation d'un litre de vin étant, d'après les auteurs, de 15 à 25 grammes, on voit que plus du tiers, souvent plus de la moitié des matériaux solides du vin sont restés inconnus jusqu'à ce jour.

Dans la deuxième partie de mon travail, je m'occupe plus spécialement du ferment, de sa nature et des transformations qu'il éprouve. Mais l'espace me manque pour donner un résumé de cette partie de mon Mémoire.

MÉMOIRE SUR LA FERMENTATION ALCOOLIQUE [1]

Introduction.

J'appelle *fermentation alcoolique* la fermentation qu'éprouve le sucre sous l'influence du ferment qui porte le nom de *levûre de bière*.

C'est la fermentation qui donne le vin et toutes les boissons alcooliques. C'est elle également qui a servi de type à une multitude de phénomènes analogues que l'on désigne, suivant un usage général, par le mot générique de *fermentation* suivi de la dénomination de l'un des produits essentiels du phénomène particulier que l'on envisage.

De cette convention relative à la nomenclature adoptée, il résulte que l'expression de *fermentation alcoolique* ne peut pas désigner tout phénomène de fermentation où il se produirait de l'alcool ; car il peut y en avoir de diverses sortes ayant ce caractère commun.

Si l'on ne s'entendait à l'avance sur celui de ces phénomènes fort distincts qui devra porter à l'exclusion des autres le nom de *fermentation alcoolique*, on donnerait lieu inévitablement à une confusion de langage qui passerait bien vite des mots aux idées, et jetterait le trouble dans des études déjà par elles-mêmes assez obscures pour que l'on évite avec des soins scrupuleux une complication artificielle.

Toute hésitation sur les mots *fermentation alcoolique* et leur véritable sens m'a d'ailleurs paru impossible, puisqu'ils ont été appliqués par Lavoisier, Gay-Lussac et Thenard à la fermentation du sucre par la levûre de bière. Il y aurait danger sans profit à ne pas suivre l'exemple de ces maîtres illustres qui ont fondé nos premières connaissances sur ce sujet [2].

1. *Annales de chimie et de physique*, 3e série, LVIII, 1860, p. 323-426 (avec 9 figures). — *Paris*, 1860, Imprimerie de Mallet-Bachelier, brochure de 106 p. in-8° (9 fig.).

2. M. Berthelot a appliqué la dénomination de *fermentation alcoolique* à des phénomènes qui, selon moi, appartiennent tous sans exception à la fermentation lactique. (*Annales de chimie et de physique*, 3e série, L, 1852, p. 322-360).

N. B. Il y aurait avantage à remplacer les expressions *levure de biere* par celles de *levure alcoolique*. Le mot *biere* y rappelle une origine trop particulière. On dirait avec plus de convenance *levure alcoolique de biere, levure alcoolique de raisin, levure alcoolique de betterave*..., pour désigner la levûre propre à la fermentation alcoolique, selon qu'elle aurait pour origine l'orge, le raisin, la betterave.

Dans la première partie de mon travail, j'étudie ce que devient le sucre par la fermentation alcoolique, et dans la deuxième je m'occupe plus spécialement du ferment, de sa nature et des transformations qu'il éprouve. Afin de mieux marquer le progrès dû à mes recherches, j'ai fait précéder chaque partie d'un résumé historique de l'état de la science à l'époque où j'ai commencé à m'occuper de la fermentation alcoolique.

PREMIÈRE PARTIE

Ce que devient le sucre dans la fermentation alcoolique.

§ I. — *Historique de l'état actuel de la science sur les produits de la fermentation alcoolique.*

Lavoisier exposa le premier les vues les plus judicieuses sur les produits de la fermentation alcoolique. Le Mémoire inséré dans ses *Éléments de Chimie* sur cet objet est singulièrement curieux. Défectueux à l'excès dans les déterminations numériques, il est admirable si on le considère au point de vue des idées générales et philosophiques. C'est là qu'on trouve ces belles paroles : « Rien ne se crée ni dans les opérations de l'art ni dans celles de la nature, et l'on peut poser ce principe, que dans toute opération il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération, que la qualité et la quantité des principes est la même et qu'il n'y a que des changements, des modifications. C'est sur ce principe qu'est fondé tout l'art de faire des expériences en chimie (1) ».

Quoi qu'il en soit, les opérations que rapporte Lavoisier ne confirment ses vues préconçues que par suite de compensations d'erreurs considérables. Sans entrer dans les détails, je me contenterai de dire que Lavoisier part de la composition du sucre suivante (2) :

Hydrogène	8	
Oxygène.	64	100.
Carbone	28	

où le carbone est en erreur de 14 pour 100. Quelques pages plus loin, Lavoisier donne un tableau complet de ses résultats numériques, dans lequel on trouve, comme il le fait remarquer, que la somme des poids

1. Lavoisier. Traité élémentaire de chimie, seconde édition, *Paris*, 1793, 2 vol. in-8°. Tome Ier, p. 148-149.
2. *Loc. cit.*, p. 142. (*Notes de l'Édition.*)

de l'alcool et de l'acide carbonique produits pendant la fermentation est à très peu près égale au poids du sucre qui a fermenté, et que l'équation se vérifie pour chacun des éléments séparés. L'erreur en moins sur l'acide carbonique est très grande et elle est compensée par une erreur en plus et équivalente pour l'alcool.

Mais, quoi qu'il en soit et dans la limite d'exactitude des analyses de l'époque sur ces matières, tous les chimistes contemporains de Lavoisier devaient penser que le sucre, sous l'influence de la levûre de la bière, se dédoublait en alcool et en acide carbonique.

Lavoisier résume ainsi les conclusions de ses recherches :

« Les effets de la fermentation vineuse se réduisent donc à séparer en deux portions le sucre qui est un oxyde; à oxygéner l'une aux dépens de l'autre pour en former de l'acide carbonique; à désoxygéner l'autre en faveur de la première pour en former une substance combustible qui est l'alcool ; en sorte que s'il était possible de recombiner ces deux substances, l'alcool et l'acide carbonique, on reformerait du sucre » (1).

Vingt années plus tard, les analyses de Gay-Lussac et Thenard et celles de de Saussure fixèrent définitivement la composition du sucre et de l'alcool. Si les conclusions du travail de Lavoisier n'avaient pu concorder avec ces nouvelles analyses, nul doute qu'elles eussent été revisées par l'expérience et que l'on eût été frappé davantage de la grande inexactitude des mesures de Lavoisier; mais bien au contraire il devint alors facile de faire voir théoriquement qu'en ajoutant de l'alcool et de l'acide carbonique on pouvait reproduire la composition du sucre (2).

C'est ce que Gay-Lussac fit bientôt remarquer.

Dans une lettre à M. Clément, insérée dans les *Annales de chimie* pour 1815, Gay-Lussac, après avoir discuté les analyses récentes sur le

1. *Loc. cit.*, p. 150. (*Note de l'Édition.*)

2. Il se passa alors quelque chose de singulier en ce qui concerne les résultats du travai de Lavoisier. On s'efforça de mettre en rapport les données de ses expériences avec les nombres théoriques de la lettre de Gay-Lussac, et l'on profita dans ce but d'une omission de son Mémoire relative à la densité de l'alcool qui figure au tableau résumé de ses résultats. *Voir* à ce sujet l'article FERMENTATION dans le *Dictionnaire de chimie* de Ure, traduit par Riffault, 1823 [tome III, p. 232-244]. Le poids de l'alcool trouvé par Lavoisier étant trop élevé, il était facile, en le supposant mêlé d'eau dans une certaine proportion, de retomber sur les chiffres de Gay-Lussac; mais on aurait dû remarquer que cette modification au poids de l'un des deux produits obtenus par Lavoisier dans la fermentation mettait en défaut l'équation même par laquelle cet illustre chimiste avait représenté le phénomène. Je n'aurais pas de peine à croire que Lavoisier ne connaissait pas l'alcool absolu d'aujourd'hui, mais c'est bien avec des nombres tels qu'il les donne que la somme des poids de l'acide carbonique et de l'alcool reproduisait le poids du sucre fermenté, et toucher à l'un des termes de l'équation, c'était nier implicitement son exactitude et la mettre par un autre côté en désaccord avec la théorie de Gay-Lussac.

gaz oléifiant, l'alcool, l'éther et le sucre, arrive à cette déduction théorique :

« Si l'on suppose maintenant que les produits que fournit le ferment puissent être négligés relativement à l'alcool et à l'acide carbonique qui sont les seuls résultats sensibles de la fermentation,... on trouvera qu'étant données 100 parties de sucre, il s'en convertit pendant la fermentation 51,34 en alcool et 48,66 en acide carbonique [1] ».

Ces quelques lignes de Gay-Lussac fixèrent l'opinion des chimistes. Néanmoins il s'y cache une erreur qui fut très judicieusement mise en lumière par MM. Dumas et Boullay en 1828. Ces habiles chimistes firent voir que les nombres de Gay-Lussac ne sont vrais que pour les sucres de formule

$$C^{12} H^{12} O^{12},$$

tandis que Gay-Lussac les appliquait au sucre de canne. De là cette conséquence très bien indiquée par MM. Dumas et Boullay que le sucre de canne ne peut fermenter sans assimiler les éléments d'une molécule d'eau [2]. Deux années après, M. Dubrunfaut alla plus loin, et reconnut expérimentalement que le sucre de canne avant de fermenter se transformait en sucre incristallisable.

Quoi qu'il en soit, il est facile de reconnaître par la lecture des ouvrages contemporains qu'à dater de la lettre de Gay-Lussac il n'y eut plus de doutes dans les esprits; et, lorsque l'usage des formules chimiques se fut définitivement introduit dans la science, chacun exprima la fermentation alcoolique des sucres sous l'influence de la levûre de bière par l'équation :

$$C^{12} H^{12} O^{12} = 2 (C^4 H^6 O^2) + 4 CO^2.$$

1. Gay-Lussac. [Lettre à M. Clément sur l'analyse de l'alcool et de l'acide sulfurique, et sur les produits de la fermentation]. *Annales de chimie*, XCV, 1815, p. 318. *Voir* à la page 317, ligne 5, comment Gay-Lussac introduit à son insu par une hypothèse toute gratuite l'erreur qui fut relevée plus tard par MM. Dumas et Boullay. Après avoir rappelé les résultats de l'excellente analyse du sucre de canne qu'il avait faite antérieurement avec M. Thenard, Gay-Lussac les modifie sans raison de 2 à 3 pour 100, et il trouve alors que le sucre de canne est formé de 6 volumes de vapeur de carbone contre 6 de vapeur d'eau, tandis que l'analyse exacte donnait 6 volumes de vapeur de carbone contre $5\frac{1}{2}$ de vapeur d'eau. C'est ainsi que dans les sciences d'observation les meilleurs esprits peuvent être conduits à des résultats erronés par la séduction d'une simplicité plus apparente que réelle.

2. Dumas et Boullay fils. [Mémoire sur les éthers composés]. *Annales de chimie et de physique*, XXXVII, 1828, p. 46 et 47. « La théorie de la fermentation établie par Gay-Lussac laisse donc quelque chose à souhaiter; mais il n'en est plus ainsi dès qu'on substitue l'éther à l'alcool dans la composition théorique du sucre. L'accord le plus parfait se rétablit alors entre la théorie et l'expérience.....

« Les sucres de raisin et d'amidon paraissent différer surtout du sucre de canne en ce qu'ils sont composés de telle manière qu'on peut réellement les représenter par de l'acide carbonique et de l'alcool... »

Mais qu'on le remarque bien, Gay-Lussac n'a pas fait d'expériences ; et en tout ceci ce que je vois de plus réel est l'illusion produite par l'équation possible entre le sucre d'une part, l'alcool et l'acide carbonique de l'autre.

Je tenais à montrer par ces détails historiques que l'étude de la fermentation alcoolique, malgré l'importance du sujet, n'avait pas encore été établie sur une base scientifique assurée et que l'équation généralement admise n'était que l'expression d'une théorie qui n'avait pour appui aucune mesure précise.

Le travail de Lavoisier renferme un résultat précieux sur la formation d'une petite quantité d'un acide organique pendant la fermentation alcoolique, fait confirmé par M. Thenard et par tous les observateurs qui se sont occupés de cette fermentation. La nature de cet acide est mal connue. Lavoisier dit que c'est de l'acide acétique, et les auteurs modernes affirment que c'est de l'acide lactique. Sur ce point on ne rencontre encore dans les ouvrages aucun travail suivi. L'assertion relative à l'acide lactique s'est probablement introduite dans la science lorsque l'on apprit que M. Dubrunfaut avait obtenu beaucoup d'acide lactique dans certaines fermentations alcooliques [1]. Les propositions suivantes résument donc les connaissances actuelles sur les produits de transformation du sucre dans la fermentation alcoolique :

1°. Le sucre de canne, $C^{12}H^{11}O^{11}$, après s'être modifié en sucre des fruits acides, de composition $C^{12}H^{12}O^{12}$, fermente et se dédouble en alcool et en acide carbonique. La somme des poids de l'alcool et de l'acide carbonique représente à peu de chose près le poids du sucre [2].

1. Voici comment s'exprime cet habile chimiste industriel dans une Notice historique sur la distillation de la betterave, imprimée en 1856 : « Dans nos travaux de distillation de fécules, à Versailles, de 1831 à 1835, nous faisions rentrer indéfiniment les vinasses en fermentation, faute d'eau, et nous les saturions préalablement avec de la craie. Ces vinasses, après un certain temps, avaient acquis une densité de 12 à 14° Baumé. Étonné d'un pareil fait, nous en fîmes concentrer quelques milliers de litres à consistance sirupeuse et nous en déposâmes le produit dans de grandes formes à sucre. Nous ne fûmes pas peu surpris d'y trouver, quelques jours après, une abondante cristallisation qui se présentait avec l'aspect du glucose mamelonné de raisin, et qui n'était autre chose que du lactate de chaux. En répétant les expériences de Vauquelin sur les eaux sûres des amidonniers, nous reconnûmes à la même époque que l'acide libre de ces eaux était en très grande partie de l'acide lactique. Jusqu'en 1841 ou 1842 nous avons été en possession presque exclusive de livrer aux pharmaciens le lactate de chaux utile à leurs besoins. »

2. La transformation du sucre de canne en sucre incristallisable par la fermentation a été découverte vers 1830 par M. Dubrunfaut. [Note sur quelques phénomènes rotatoires et sur quelques propriétés des sucres. *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., XVIII, 1846, p. 99-108]. En 1828, MM. Dumas et Boullay fils avaient montré qu'il n'était pas possible que le sucre de canne fermentât sans assimiler les éléments de 1 équivalent d'eau. [Mémoire sur les éthers composés]. (*Annales de chimie et de physique*, XXXVII, 1828, p. 46). C'est M. Persoz qui le premier a observé que le sucre incristallisable de la fermentation déviait à gauche et se

2°. Une très petite quantité de sucre se transforme isomériquement en acide lactique de même composition que le sucre.

Je montrerai tout à l'heure que la première proposition n'est jamais exacte, qu'elle n'est qu'une approximation assez grossière de la vérité; et quant à la seconde, elle est tout à fait erronée en ce qui touche à la nature de l'acide de la fermentation, lequel n'est dans aucun cas de l'acide lactique, à moins que la fermentation ne se complique fortuitement d'une fermentation tout autre, la fermentation lactique.

Je vais maintenant exposer successivement avec tous les détails convenables les résultats nouveaux de mes recherches.

Je les présente avec confiance aux chimistes, parce que j'ai donné à leur étude des soins minutieux et surtout qu'ayant répété nombre de fois mes expériences dans des conditions variées, je crois être arrivé à faire la part des lois générales des phénomènes en les dégageant des complications accidentelles qui ont jeté beaucoup d'obscurité dans l'histoire de la fermentation alcoolique (1).

§ II. — *La glycérine et l'acide succinique sont des produits de la fermentation alcoolique* (2). *Leur séparation et leur dosage.*

On peut par des moyens très divers mettre en évidence la formation de l'acide succinique dans la fermentation. L'un des plus simples consiste à évaporer le liquide fermenté après l'avoir filtré pour séparer la levûre. Le résidu est traité à diverses reprises par de l'éther que l'on abandonne ensuite dans un verre à une évaporation spontanée. Le lendemain, toutes les parois sont couvertes de cristaux d'acide

trouvait ainsi analogue au sucre de raisin non solidifié. A la même époque, M. Biot découvrit l'inversion du sucre de canne par les acides. [Biot et Persoz. Mémoire sur les modifications que la fécule et la gomme subissent sous l'influence des acides. *Nouvelles Annales du Muséum d'histoire naturelle*, II, 1833, p. 109-125. — Biot. Remarques sur la fermentation des sucres. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XVII, 1843, p. 755. — Dubrunfaut. Note sur quelques phénomènes rotatoires et sur quelques propriétés des sucres. *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., XVIII, 1846, p. 102.]

1. Ces recherches ont duré trois années, sans interruption, de 1856 à 1859.

2. J'ai découvert la présence de l'acide succinique parmi les produits de la fermentation alcoolique au commencement de l'année 1857. J'ai communiqué ce fait peu de temps après à la Société des sciences de Lille, notamment dans les séances du 16 avril et du 1er mai 1857, et à l'Académie des sciences dans sa séance du 25 janvier 1858. Quant à la glycérine, je ne l'ai reconnue dans les produits de la fermentation qu'au commencement de l'année 1858. La première annonce que j'en ai faite à l'Académie des sciences est à la date du 3 mai 1858. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLVI, 1858, p. 857) [p. 29 du présent volume.]

succinique [1]. Au fond se trouve un sirop rempli de pareils cristaux et formé à peu près exclusivement par de la glycérine saturée d'acide succinique. L'éther dissout toujours partiellement la glycérine dans ces conditions.

Ce procédé, qui ne conviendrait pas pour extraire et doser l'acide succinique, peut très bien servir à le mettre en évidence dans tous les liquides fermentés, quelles que soient leur nature et leur origine.

Quant à la glycérine, on opère à peu près comme il vient d'être dit; seulement, au lieu de reprendre le résidu de l'évaporation du liquide fermenté par l'éther, on se sert d'éther mêlé d'alcool. Ce mélange dissout l'acide succinique et la glycérine et laisse les matières extractives azotées. On évapore, on sature par l'eau de chaux, on évapore de nouveau à siccité et on reprend par le même mélange d'alcool et d'éther qui ne dissout que la glycérine sans toucher au succinate de chaux.

Mais lorsqu'il s'agit de déterminer quantitativement l'acide succinique et la glycérine et de les isoler entièrement de tous les autres produits de la fermentation, il faut prendre des précautions particulières sur lesquelles il est indispensable que j'insiste.

La difficulté principale de l'analyse du liquide fermenté tient aux produits solubles que la levûre de bière apporte dans ce liquide ou qui résultent de ses transformations, auxquelles le sucre ne reste pas étranger. La nature de ces produits est toujours la même sensiblement, mais leur proportion varie avec les quantités de levûre et de sucre que l'on emploie.

Dès que la levûre de bière est délayée dans l'eau sucrée, elle cède à la liqueur une partie de ses principes solubles emprisonnés à l'intérieur de ses globules. Des matières salines, principalement des phosphates, et des matières azotées albuminoïdes entrent en dissolution, et les globules, puisant une partie de leur nourriture dans ces deux sortes de substances, vivent, bourgeonnent, se multiplient.

Les mutations des tissus et des aliments donnent lieu à des modifications des produits primitifs ou à des corps nouveaux, les uns solides et insolubles, les autres liquides et solubles, qui restent dans la liqueur et que nous y retrouvons après l'achèvement de la fermentation, mélangés avec les produits de dédoublement du sucre.

Ces considérations générales étant posées, occupons-nous de la séparation et du dosage de quelques-uns des produits de la fermentation alcoolique.

1. Quelquefois la cristallisation exige plusieurs jours avant de se montrer.

Le poids de la levûre employée est déterminé avec soin. Une autre portion également déterminée de la même levûre est pesée après dessiccation dans une étuve à eau bouillante, afin de connaître le poids total de matière sèche que renferme cette levûre.

Lorsqu'en examinant avec attention pendant quelques minutes la liqueur qui fermente, on ne voit plus s'élever du fond du vase aucune bulle de gaz, la fermentation est achevée (1). Dans le cas contraire et lors même qu'il ne se dégagerait qu'une bulle microscopique après un intervalle de plusieurs minutes, nul doute qu'il existe encore du sucre non décomposé. Il y a un moyen plus certain, qui consiste à essayer une petite quantité du liquide avec la liqueur cuivrique de Fehling. Si la réduction est nulle, c'est qu'il n'y a plus du tout de sucre. Mais il faut être sobre dans l'emploi de ce moyen et ne l'appliquer que comme contrôle du précédent, quand on juge que la fermentation est arrivée à son terme, parce que l'on donne de cette manière accès à l'air atmosphérique, ce qui peut avoir des inconvénients pour la suite de l'analyse. Je suppose donc le cas ordinaire, celui d'une bonne fermentation alcoolique entièrement terminée (2).

Le liquide fermenté est filtré sur un filtre dont la tare a été faite avec un autre filtre de même papier. Après dessiccation à 100°, une pesée donne le poids à l'état sec du dépôt de levûre qui s'est rassemblée peu à peu au fond du vase où s'est opérée la fermentation.

Le liquide filtré est soumis à une évaporation très lente dont je donnerai à peu près la mesure en disant qu'il faut douze à vingt heures

1. Cela suppose toutefois que la fermentation a été seulement alcoolique. Si elle était devenue accidentellement lactique, tout dégagement de gaz pourrait cesser lors même qu'il y aurait encore beaucoup de sucre dans la liqueur. Mais c'est un cas tout à fait exceptionnel et qui ne se présente guère que si la levûre de bière employée n'est pas fraîche et renferme déjà de la levûre lactique.

N. B. J'ai observé un fait bien singulier relativement au dégagement des bulles de gaz acide carbonique. C'est que jamais les bulles de gaz carbonique ne partent des globules de levûre, mais uniquement des poussières ou corps étrangers qui existent dans la levûre ou le liquide, et qu'il est bien difficile, pour ne pas dire impossible, d'éloigner tout à fait. On ne saurait vraiment prévoir comment les choses se passeraient si l'on parvenait à les isoler complètement. Le liquide se sature d'une manière invisible de gaz carbonique, et l'excès va se dégager là où se trouvent des corps microscopiques étrangers, différents des globules de levûre. Il est assez étrange que la production du gaz carbonique ait lieu par le fait des globules, qui sont des corps solides, et que néanmoins ces derniers ne puissent provoquer le dégagement du gaz à la manière des corps solides ordinaires inorganisés.

2. Au commencement de mes recherches j'étais porté à croire, avec beaucoup de personnes, que dans les essais en petit les fermentations alcooliques ne s'achèvent que fort rarement. C'est une erreur. Quinze jours, trois semaines suffisent en général si la fermentation ne devient pas partiellement lactique. Mais il y a une circonstance assez importante qui n'a pas été remarquée, ce me semble, dans laquelle les fermentations alcooliques ont une durée pour ainsi dire illimitée. Cela se présente invariablement toutes les fois que l'on emploie un excès de sucre. J'ai lieu de croire qu'une fermentation de ce genre peut durer des années entières. Dans tous les cas, je puis assurer que j'en ai suivi un grand nombre pendant quatre,

pour évaporer $\frac{1}{2}$ litre d'eau. Lorsqu'il reste environ 10 à 20 centimètres cubes de liquide, on achève l'évaporation dans le vide sec.

Si l'évaporation est plus rapide et se termine à feu nu, on perd infailliblement une quantité très sensible d'acide succinique et de glycérine. Après vingt-quatre heures de vide sec, le résidu sirupeux de la capsule est traité à diverses reprises par un mélange d'alcool et d'éther formé de 1 partie d'alcool à 90 ou 92, et de 1 $\frac{1}{2}$ partie d'éther rectifié. Pour plus de sûreté, on jette chaque portion de ce mélange éthéré sur un filtre, bien que généralement le résidu insoluble reste en une masse plastique au fond de la capsule; mais, à mesure que les lavages se répètent, le résidu, perdant son eau de plus en plus, devient dur et quelquefois se divise en grumeaux, ce qui peut souiller le liquide de lavage de matières solides en suspension. Quoi que l'on fasse, le résidu insoluble offre une très faible réaction acide au papier de tournesol bleu. C'est sa nature. Après sept ou huit lavages, il n'y reste plus d'acide succinique ni de glycérine.

Je reviendrai sur la composition de ce résidu insoluble dans le mélange alcoolique éthéré. Je me contenterai de dire ici que pour en déterminer le poids total il suffit de le reprendre par l'eau et de l'évaporer dans une capsule tarée au bain-marie, puis dans l'étuve à eau, à 100°, jusqu'à ce que son poids soit invariable.

Occupons-nous maintenant du liquide alcoolique éthéré. Le flacon même où on l'a recueilli est placé dans un bain-marie tiède pour chasser la plus grande partie de l'éther. On peut alors, en ajoutant de l'eau, évaporer dans une capsule de porcelaine sans craindre que le grimpement du liquide éthéré donne lieu à des pertes. Cette évaporation doit se faire également à un feu très doux et se terminer dans le vide sec.

Alors on ajoute de l'eau de chaux pure bien limpide jusqu'à neutralité aussi exacte qu'il est possible de l'atteindre. On évapore de nouveau avec les mêmes précautions, et on reprend le résidu par le mélange alcoolique éthéré qui ne dissout que la glycérine. Le

cinq, six mois, et elles continuaient encore, toujours avec une excessive lenteur dès la fin du premier mois. Je reviens sur ces faits dans le cours du Mémoire. Leur explication se présentera naturellement.

L'une des principales causes de la lenteur progressive de la fermentation a été fort bien indiquée par M. Chevreul, 28e leçon de son *Traité de chimie appliquée à la teinture*. Il est certain que le changement de nature qui s'opère dans le liquide par la transformation du sucre en divers produits influe beaucoup sur la marche du phénomène. J'ai reconnu, par exemple, que la levûre la plus active paraît pour ainsi dire inerte si on l'ajoute à de l'eau sucrée additionnée préalablement des quantités d'alcool et d'acide succinique qu'elle serait capable de développer dans une eau sucrée pure, et où elle provoquerait durant plusieurs jours une vive fermentation.

succinate de chaux reste à l'état cristallin souillé d'une petite quantité de matière extractive ou d'un sel de chaux à acide incristallisable. Il est facile de débarrasser le succinate de chaux de cette impureté en le faisant digérer dans la capsule même où il se trouve avec de l'alcool à 80°, durant vingt-quatre heures; l'alcool dissout les matières étrangères et laisse intact, cristallisé, presque incolore, le succinate de chaux, qui peut être regardé alors comme suffisamment pur. Recueilli ensuite sur un filtre taré, il est desséché et pesé.

Quant à la glycérine, elle est également pesée après avoir évaporé très doucement dans une capsule tarée le liquide alcoolique qui la tient en dissolution. Cette évaporation s'achève encore dans le vide sec où la glycérine ne doit être maintenue que deux ou trois jours, car elle y diminue de poids, même à la température ordinaire, lorsqu'elle est privée d'eau [1].

On obtient ainsi toute la glycérine du liquide fermenté sans perte sensible, et elle peut être regardée comme pure si elle provient d'un liquide fermenté sous l'influence d'une quantité suffisante et non exagérée de levûre de bière [2]. Lorsque l'on emploie trop de levûre, beaucoup plus qu'il n'en faut pour la proportion de sucre mise en expérience, la pureté de la glycérine s'en ressent, parce que la levûre renferme une très petite quantité de principes qui sont solubles dans le mélange d'alcool et d'éther [3]. La saveur de la glycérine en avertit bien vite. Il faut extrêmement peu de ces produits étrangers pour lui donner une saveur amère et piquante. Elle doit également se dissoudre

1. Lorsque la glycérine s'est desséchée dans le vide, si on l'y maintient elle diminue encore de poids. En la pesant chaque jour à partir de ce moment, on trouve qu'elle diminue sensiblement de la même quantité pour un même temps de séjour dans le vide. Cette perte s'élève en été à 12 ou 15 milligrammes par vingt-quatre heures pour un poids de 3 grammes environ de glycérine.

2. Si la fermentation n'a pas été complète, la glycérine renferme une très minime quantité de sucre incristallisable dissous par le mélange d'alcool et d'éther. On le reconnaît facilement par la liqueur de cuivre de Fehling.

3. 250 grammes de levûre en pâte (renfermant 40 grammes de matière sèche à 100°) ont été mis à bouillir avec un litre d'eau pendant plusieurs heures. On a filtré, évaporé la liqueur limpide et traité l'extrait séché dans le vide par le mélange d'alcool et d'éther. Le résidu du liquide alcoolique éthéré a été de 0 gr. 739, soit 1 gr. 847 pour 100 grammes de levûre sèche. Or on peut faire fermenter à la rigueur 100 grammes de sucre en n'employant que 1 gramme de levûre supposée sèche. La levûre n'introduit donc par elle-même dans la liqueur qu'une quantité de matière très minime, capable de souiller ultérieurement la glycérine recueillie suivant la méthode que j'ai indiquée. Bien plus, la matière dont je parle ne se redissout pas à beaucoup près totalement dans un traitement nouveau par le mélange d'alcool et d'éther. Or dans la méthode que j'ai donnée pour extraire la glycérine il y a deux traitements successifs par le mélange d'alcool et d'éther.

Cette matière, que le mélange alcoolique éthéré sépare de l'extrait de levûre, est très complexe. Elle contient de petites quantités de glycérine et d'acide succinique, parce que la levûre sort toujours d'un liquide fermenté. Son aspect est celui d'une substance cireuse, jaune; elle a une odeur particulière qu'elle communique à la glycérine des fermentations, ou plutôt à l'at-

sans résidu dans l'alcool absolu ou dans un mélange d'alcool et d'éther. Je le répète, l'impureté ne provient que des matières dont je viens de parler et on est en quelque sorte maître de les diminuer autant que l'on veut, et dans tous les cas de les doser à part pour les défalquer du poids total de glycérine obtenue. La fermentation ne donne par elle-même aucun produit qui puisse altérer la pureté de la glycérine extraite comme je viens de le dire (1).

§ III. — *Application de la méthode d'analyse précédente à un exemple particulier.*

Je mets à fermenter dans un flacon muni d'un tube à gaz plongeant dans l'eau :

	gr.
Sucre candi.	100,000
Eau pure	700,000
Levûre humide	6,254.

La fermentation dure très longtemps, parce qu'il y a très peu de levûre.

Une autre portion de la même levûre pesant 8 gr. 254, desséchée à 100°, laisse un résidu de 1 gr. 582.

Les 6 gr. 254 de levûre employée ne renfermaient donc que 1 gr. 198 de maière sèche.

Lorsque la cessation de tout dégagement de gaz et l'essai à la liqueur cuivrique eurent indiqué que tout le sucre avait disparu, le liquide fut filtré et le dépôt de levûre recueilli sur un filtre taré, puis pesé après dessiccation à 100°.

mosphère des cloches dans lesquelles on la dessèche. Sa saveur est très piquante, et dès qu'elle entre dans la glycérine en quantité un peu sensible, elle lui donne une saveur désagréable et augmente sa viscosité. Elle boursoufle et se charbonne beaucoup par la calcination en laissant très peu de cendres alcalines solubles.

Enfin cette substance est très soluble dans l'eau, à l'exception d'une très petite quantité de matière grasse qui se dépose sous forme de vernis invisible sur toute la hauteur des parois des capsules pendant l'évaporation des liqueurs. Cet effet est dû à ce que la matière grasse forme une mince pellicule à la surface de l'eau, qui se dépose peu à peu durant l'évaporation sur les parois des capsules au niveau qu'occupe successivement le liquide.

1. Lorsque j'ai reconnu pour la première fois la glycérine parmi les produits de la fermentation alcoolique, je n'avais d'autre moyen de l'obtenir pure que de distiller dans le vide, vers 200°, le résidu de l'évaporation des liquides fermentés. Voici une analyse de la glycérine préparée de cette manière, ayant une saveur franchement sucrée avec un arrière-goût empyreumatique :

Poids de matière.	0,421
Acide carbonique	0,605
Eau	0,336

d'où l'on déduit :

	TROUVÉ	CALCULÉ
Carbone.	39,21	39,13
Hydrogène.	8,86	8,69.

Le liquide, évaporé avec les ménagements que j'ai indiqués, devient sirupeux et se remplit de longs cristaux feuilletés d'acide succinique. La cristallisation de cet acide n'a lieu que dans des cas exceptionnels, lorsque l'on a employé très peu de levûre. C'est qu'alors les matières albuminoïdes cédées par la levûre au liquide fermenté sont en quantité relativement faible. La cristallisation de l'acide succinique n'a pas lieu si la levûre a fourni beaucoup de matières solubles.

Le résidu de l'évaporation dans le vide sec est traité par le mélange d'alcool et d'éther à diverses reprises. Il laisse une masse brune, plastique, qui, reprise par l'eau et desséchée, constitue une matière très complexe, dont la teneur en azote était dans le cas actuel de 3,8 pour 100.

Dissoute dans de l'eau sucrée, elle peut y produire un commencement de fermentation alcoolique si l'on y sème quelques globules de levûre frais. Elle a les propriétés générales de l'extrait d'eau de levûre et une composition analogue (1).

Le liquide alcoolique éthéré évaporé a été neutralisé par l'eau de chaux, il a exigé pour la saturation 0,350 de cette base. S'il n'y avait que de l'acide succinique, cette proportion de chaux en accuserait 0 gr. 737.

Le liquide saturé, évaporé avec les ménagements déjà décrits, est traité de nouveau par le mélange d'alcool et d'éther, qui cette fois ne dissout que la glycérine et ne touche pas au succinate de chaux. Ce sel est tout à fait insoluble dans le mélange alcoolique éthéré. Le nouveau liquide tenant en solution la glycérine est évaporé avec les mêmes soins. Après plusieurs jours de dessiccation dans le vide, la glycérine pèse 3,640. Analysée dans cet état sans autre purification, elle a donné les résultats suivants :

0 gr. 410 de matière ont fourni 0,583 d'acide carbonique et 0,321 d'eau, nombres qui correspondent à

	TROUVÉ.	CALCULÉ.
Carbone	38,78	39,13
Hydrogène.	8,70	8,09.

1. Cet extrait du liquide fermenté est hygrométrique, a souvent une odeur de caramel ou de pain grillé. Ses propriétés physiques et chimiques se rapprochent de celles de l'extrait de l'eau de lavage de la levûre ordinaire, mais elles s'en éloignent d'autant plus que la fermentation a plus épuisé la levûre, qu'il y avait moins de levûre et plus de sucre en présence. C'est qu'il y a pendant la fermentation échange continuel entre les parties solubles et insolubles de la levûre. L'extrait du liquide fermenté renferme de moins en moins de phosphate de magnésie. Ce sel fait peu à peu partie de la levûre nouvelle sous l'influence de laquelle s'effectue la fermentation. Enfin l'extrait du liquide fermenté est d'autant moins propre à la fermentation qu'il provient d'une fermentation où la levûre a été plus épuisée.

Quant au résidu laissé insoluble dans le dernier traitement par l'alcool et l'éther, il est grenu, cristallin et souillé par places d'une matière cornée hygrométrique, qu'il est facile d'enlever en laissant digérer le sel sec avec de l'alcool à 80° pendant une nuit à la température ordinaire. Il est inutile d'agiter. On recouvre seulement la capsule d'une lame de verre.

Il reste alors du succinate de chaux cristallisé, à peine coloré, et offrant exactement, après dessiccation dans l'étuve à huile, la composition du succinate de chaux, $C^8H^4O^6,2CaO$ [1]. Son poids était égal à 0,890, ce qui correspond à 0,673 d'acide succinique. Le poids de chaux nécessaire pour la saturation correspondait au contraire, ainsi que je l'ai fait remarquer, à 0,737 d'acide succinique. La différence tient à ce qu'une petite quantité de la chaux est employée à saturer, outre l'acide succinique, cette matière incristallisable jouant le rôle d'acide à équivalent élevé, qui souille le succinate de chaux et que l'on enlève par l'alcool à 80°. C'est une substance qui prend naissance pendant la fermentation par suite des mutations qui s'accomplissent dans les principes de la levûre. Son poids n'atteint que 1 à 2 décigrammes à l'ordinaire pour une fermentation de 100 grammes de sucre; mais sa proportion varie avec le poids de levûre employé, et il y en a d'autant plus que l'on a employé moins de levûre. Ainsi dans le cas actuel son poids s'est élevé jusqu'à 0 gr. 500. Cette circonstance est remarquable parce qu'elle tend à faire croire que la matière qui souille le succinate de chaux est le produit de l'altération des globules de levûre. Moins on emploie de levûre, plus il y a de désorganisation dans les globules, et plus augmente le poids des matières qui sont le produit de cette désorganisation.

1. Le succinate de chaux, traité par un peu d'acide sulfurique et repris par l'alcool, cède facilement son acide.

Cristallisé et desséché dans l'air sec, cet acide, qui offre toutes les propriétés physiques et chimiques de l'acide succinique ordinaire, a donné les résultats suivants à l'analyse :

Poids de matière	0,5345
Acide carbonique	0,793
Eau	0,254

d'où l'on déduit :

Carbone	40,45
Hydrogène	5,27
Oxygène	54,28
	100,00.

La formule

$$C^8H^6O^8$$

de l'acide succinique cristallisé exige :

Carbone	40,68
Hydrogène	5,08
Oxygène	54,24
	100,00.

En résumé, nous avons employé :

100 grammes de sucre et 1,198 de levûre, et nous avons obtenu après la fermentation

Acide succinique, $C^8H^6O^8$	0,673
Glycérine	3,640
Total	4,313.

Nous verrons bientôt que la proportion de sucre qui échappe à l'équation de Lavoisier et de Gay-Lussac est sensiblement plus élevée que ne l'indique ce résultat. Un poids de sucre assez notable se transforme encore en d'autres produits différents de l'acide succinique et de la glycérine.

Mais auparavant recherchons si la levûre prend part a la formation des nouvelles substances que nous venons de reconnaître parmi les matériaux ordinaires de la fermentation alcoolique.

§ IV. — *Les éléments de l'acide succinique et de la glycérine sont empruntés au sucre. La levûre n'y prend aucune part.*

Que les éléments de la glycérine soient fournis par ceux du sucre et que la levûre n'y ait point de part, la chose est assez prouvée par la comparaison des poids de glycérine et de levûre dans l'expérience précédente. On n'avait employé que 1,198 de levûre et on a recueilli 3,6 de glycérine.

Mais pour l'acide succinique cela est moins évident. L'expérience suivante a été disposée de manière à fournir un poids d'acide succinique supérieur au poids total des principes du ferment. Elle est tout à fait décisive.

A une solution de 100 grammes de sucre candi pur j'ai ajouté un poids total de matières albuminoïdes et minérales égal à 0 gr. 385, propres à la multiplication des globules de levûre. Il suffit, pour se procurer de telles matières et en connaître le poids, de faire bouillir de la levûre fraîche avec de l'eau distillée, de filtrer la liqueur que l'on partage en deux portions, dont l'une est évaporée à siccité et desséchée à 100°, afin de connaître la quantité totale de matière que renferme la liqueur sous un volume déterminé.

Cette matière soluble est on ne peut plus propre à la multiplication des globules de levûre, si elle est mêlée préalablement à de l'eau sucrée et qu'on y sème ensuite quelques globules de levûre frais [1].

1. M. Colin est, je crois, le premier chimiste qui ait remarqué que l'eau de lavage de la levûre était une très bonne source de ferment. Dans un travail fort intéressant, qui fut un

A la liqueur formée de 100 grammes de sucre et de 0 gr. 385 de matières albuminoïdes et minérales, j'ai ajouté, suivant ces prescriptions, une quantité très minime et pour ainsi dire impondérable de levûre fraîche. Les globules se sont multipliés en assimilant du sucre et des matières minérales et albuminoïdes, et corrélativement le sucre a fermenté.

Le sucre étant en grand excès, la fermentation a duré plusieurs mois sans être achevée. J'y ai mis fin lorsqu'elle était assez avancée pour le but que je me proposais d'atteindre.

Par un dosage effectué à l'aide de la liqueur cuivrique, j'ai vu qu'il restait encore dans la liqueur 30 gr. 941 de sucre. J'ai reconnu ensuite qu'il s'était formé 0,47 d'acide succinique : c'est-à-dire que le poids d'acide succinique surpassait le poids total de matière soluble de levûre employée.

D'autre part, le dépôt de levûre pesait 0 gr. 400 après dessiccation à 100°.

L'acide succinique vient donc du sucre aussi bien que la glycérine. Les éléments de la levûre ne prennent aucune part à la formation de ces produits.

§ V. — *La glycérine, l'acide succinique, l'alcool et l'acide carbonique ne sont pas les seuls produits de la fermentation alcoolique.*

Revenons au dosage des différentes matières de la fermentation déjà étudiée précédemment au § III, et occupons-nous principalement

complément indispensable de l'hypothèse de Fabroni et du Mémoire de M. Thenard [Mémoire sur la fermentation vineuse. *Annales de chimie*, XLVI, an XI, p. 294-320]. M. Colin [Mémoire sur la fermentation du sucre. *Annales de chimie et de physique*, 2e sér., XXVIII, 1825, p. 128-142. — Mémoire sur la fermentation (2e partie). *Ibid.*, XXX, 1825, p. 42-64], partant de faits isolés alors dans la science, fit voir que l'on pouvait alcooliser des liqueurs sucrées en employant de la pâte de farine, du gluten, de la viande de bœuf, du blanc d'œuf, du fromage, de l'urine, de la colle de poisson, du sang,... Mais, des diverses substances employées par M. Colin, c'est l'eau de lavage des levûres de bière ou de raisin, ou leur extrait, qui convenait le mieux à la fermentation.

C'est probablement en s'appuyant sur ces derniers résultats que beaucoup de personnes ont pensé que c'était dans la partie liquide des globules de levûre que résidait leur pouvoir fermentant. Il est bien facile de se convaincre qu'il n'en est rien. La fermentation ne commence à se montrer qu'au moment où il y a des globules de levûre tout formés. La partie liquide des globules n'est qu'un aliment propre au développement de ces globules, au même titre qu'une foule de matières albuminoïdes. Il n'y a pas une seule de ces matières qui ne puisse, si par elle-même elle n'y est déjà propre, se modifier spontanément par la production de champignons microscopiques ou d'infusoires de manière à devenir apte à servir d'aliment à la levûre de bière. Toutes les substances à l'aide desquelles M. Colin a réussi à provoquer la fermentation alcoolique du sucre n'ont été dans ses expériences que l'aliment azoté de la levûre qui avait pris naissance *spontanément*.

des matériaux de la levûre et de la part que le sucre peut avoir dans les mutations de ses tissus.

Le poids total de la levûre employée était 1,198.

Or, en déterminant : 1° le poids de levûre déposée après l'avoir recueillie sur un filtre taré et l'avoir desséchée à 100°; 2° le poids de matière extractive insoluble dans le premier traitement par l'alcool et l'éther; 3° le poids de matière qui souillait le succinate de chaux et que nous avons enlevé par l'alcool à 80°, j'ai trouvé (toutes les pesées ayant été faites à 100° dans les mêmes conditions jusqu'à ce que les poids soient devenus invariables) :

Levûre, — dépôt après la fermentation	1,700
Extrait insoluble dans l'alcool et l'éther	0,631
Matière souillant le succinate de chaux.	0,500
	2,831.

Si l'on défalque le poids primitif de la levûre, 1 gr. 198, on trouve 1 gr. 633 qui est l'excès du poids de la levûre et de ses matières solubles après la fermentation sur ce qu'ils étaient auparavant. 100 grammes de sucre ont donc cédé plus de 1 $\frac{1}{2}$ gramme à la levûre (1).

Nous verrons que dans ce poids entre pour une bonne part la cellulose des nouveaux globules qui se sont formés pendant la fermentation elle-même. Quoi qu'il en soit, nous voyons que la levûre prend quelque chose au sucre, et si nous ajoutons ce que le sucre cède de ce côté aux poids de glycérine et d'acide succinique, nous trouvons :

Glycérine	3,640
Acide succinique	0,673
Cellulose et matières indéterminées (2).	1,633
	5,946.

1. Il est rare que le sucre cède à la levûre un poids de matière aussi élevé.

Cela n'arrive que dans les cas de fermentation avec excès de sucre. Ordinairement le résultat oscille de 1,0 à 1,5 et il peut descendre un peu au-dessous de 1,0 pour 100 du poids du sucre, dans les fermentations en présence des matières albuminoïdes, sans autre emploi de levûre que celle qui est nécessaire pour provoquer une fermentation alcoolique régulière.

2. Dans les nombreuses analyses que j'ai faites des liquides de fermentations du sucre de canne, le rapport des poids de l'acide succinique et de la glycérine a été assez égal pour que j'attribue les divergences des résultats aux erreurs inévitables du mode d'analyse. Cependant il m'est arrivé, une seule fois il est vrai, de trouver une proportion d'acide succinique qui était très sensiblement différente du rapport ordinaire avec la glycérine. Voici le détail de l'analyse de cette fermentation : 100 grammes de sucre candi ont été mis à fermenter avec 10 grammes de levûre lavée en pâte. Le liquide fermenté filtré, évaporé avec les soins nécessaires, a exigé pour sa saturation 180 centimètres cubes d'une eau de chaux dont 88 cc. 9 correspondaient à 0,06125 d'acide sulfurique. Le succinate de chaux cristallisé et purifié a été recueilli plus tard et a donné 0,427 d'acide succinique. Le poids de glycérine s'est élevé au contraire à 3 gr. 20. Si le rapport ordinaire de l'acide succinique à la glycérine eût été réalisé dans cette fermentation, le poids d'acide succinique eût été de 0 gr. 6 environ, au lieu de 0 gr. 4. Je n'ai pu me

Nous n'avons pas fini encore avec cette étude des transformations que le sucre éprouve en dehors de l'équation théorique, $C^{12}H^{12}O^{12} = 4CO^2 + 2C^4H^6O^2$. Poursuivons-la dans une autre direction fort intéressante.

§ VI. — *De l'équation de la fermentation alcoolique.*

Un examen attentif des résultats qui précèdent conduit bien vite à une réflexion importante. Comparons les formules du sucre, de l'acide succinique et de la glycérine.

Sucre fermentescible	$C^{12}H^{12}O^{12} = 180$	
Acide succinique	$C^8H^6O^8 = 118$	$C = 6,\ H = 1,\ O = 8.$
Glycérine	$C^6H^8O^6 = 92$	

On voit immédiatement que l'acide succinique est moins hydrogéné que le sucre et que la glycérine l'est davantage, et qu'en faisant la somme des équivalents de l'acide succinique et de la glycérine, le carbone, l'hydrogène et l'oxygène se trouvent dans les rapports où ils existent dans le sucre.

En d'autres termes, si l'analyse des produits de la fermentation alcoolique nous avait donné des poids de glycérine et d'acide succinique qui fussent dans le rapport de 92 glycérine et 118 acide succinique, il serait facile de comprendre que le sucre peut être la source de ces deux produits. Mais, tout au contraire, le rapport des poids de la glycérine et de l'acide succinique, au lieu d'être $\frac{92}{118} < 1$, est à peu près $\frac{3,5}{0,7} = 5$.

Il est donc matériellement impossible que le sucre donne de l'acide succinique et de la glycérine dans les proportions précédentes sans fournir en même temps un autre produit soit beaucoup moins hydrogéné, soit beaucoup plus oxygéné que le sucre lui-même. Mais où rencontrer ce produit très oxygéné? Son poids sera relativement considérable à cause de la grande différence entre les proportions de la glycérine et de l'acide succinique. Il est facile de voir par la comparaison des formules du sucre, de la glycérine, de l'acide succinique que le poids du corps, dont l'existence est commandée par les propor-

rendre compte de ce résultat exceptionnel. Aucune circonstance ne m'en a donné l'explication.

Le poids de matière souillant le succinate de chaux avant sa pesée, et qui avait été enlevée par l'alcool à 80°, a été de 0 gr. 165, et le poids d'extrait du liquide fermenté insoluble dans le mélange d'alcool et d'éther, de 0 gr. 874.

L'examen microscopique de la levûre n'a accusé la formation d'aucune levûre étrangère.

tions relatives de ces deux derniers produits, doit s'élever à plus de 1 gramme, à moins que ce ne soit de l'acide carbonique, auquel cas son poids pourrait être moindre.

Ces réflexions, jointes aux résultats de mes analyses des produits solides de la fermentation, me portèrent à croire que l'équilibre entre l'acide succinique et la glycérine devait être rétabli par les substances volatiles de la fermentation, et celles-ci étant formées d'eau, d'alcool et d'acide carbonique, la compensation cherchée ne pourrait être due qu'à l'acide carbonique. Le dosage exact de ce gaz offrait donc un intérêt particulier.

Bien plus qu'on ne serait disposé à le croire, ce dosage rigoureux est fort difficile (1).

J'ai essayé bien des méthodes : une seule, la plus simple de toutes,

(1) Bien que je ne donne pas dans le cours de ce Mémoire de dosages d'alcool des fermentations, j'en ai effectué plusieurs avec de très grands soins et j'ai toujours trouvé par leurs indications une perte de 6 pour 100 de sucre, c'est-à-dire que 6 pour 100 du poids du sucre ne donnaient pas d'alcool.

J'ai essayé vainement de doser l'alcool des fermentations par une analyse organique. Le procédé ordinaire de la distillation du liquide fermenté m'a paru, à défaut d'autres, le meilleur et assez exact. Il faut seulement avoir soin de placer deux ou trois flacons laveurs à la suite du vase de fermentation, pour retenir autant que possible la vapeur d'alcool emportée par l'acide carbonique. Afin de chasser l'acide carbonique dissous dans le liquide fermenté, j'opérais la distillation après addition d'un excès d'eau de baryte. Quant à la détermination de la quantité d'alcool du liquide distillé, voici un moyen qui m'a paru extrêmement sensible. Connaissant d'une manière approchée, d'après le poids du sucre mis en fermentation, la quantité d'alcool formée, je pèse deux portions d'alcool absolu aussi voisines que possible et comprenant entre elles le poids présumé d'alcool à trouver. Je porte ces deux poids d'alcool chacun au volume total du liquide fermenté; puis, à la même température, je place alternativement et par comparaison un alcoomètre quelconque, bon ou mauvais, pourvu qu'il soit sensible, dans les trois liqueurs. Le dosage est terminé quand je trouve que l'un des liquides artificiels donne la même indication que le liquide distillé. Voici une fermentation dans laquelle on a déterminé l'alcool et les autres produits. Le 21 mai, on place à l'étuve 9 gr. 998 de sucre candi avec 2 gr. 026 de levûre en pâte et 100 grammes d'eau. Le 1er juin, la liqueur de cuivre n'accuse plus trace de sucre. Au microscope, pas de levûre lactique ou autre. En opérant comme je l'ai dit tout à l'heure, on a trouvé 5 gr. 100 d'alcool. L'acide carbonique n'a pu être recueilli. Calculé d'après les résultats de la fermentation de la page [69], effectuée sur 1,440 de sucre, on en déduit que les 9 gr. 998 ont dû fournir 4 gr. 911 d'acide carbonique. On a recueilli en outre 0,34 de glycérine, 0,065 d'acide succinique et 0,13 de cellulose et de matières indéterminées. En résumé, 9 gr. 998 de sucre candi ont donné :

Alcool absolu	5,100
Acide carbonique	4,911
Glycérine	0,34
Acide succinique	0,065
Cellulose et matières indéterminées	0,13
Total	10.546.

Or, 9,998 sucre candi de formule

$$C^{12}H^{11}O^{11}$$

fournissent 10,524 de sucre, $C^{12}H^{12}O^{12}$. La différence $10,546 - 10,524 = 0,022$ est très faible et dans le sens des résultats généraux de mon travail, parce que la portion de sucre candi qui se transforme en acide succinique, glycérine et acide carbonique fixe bien plus d'eau que si elle passait à l'état de sucre, $C^{12}H^{12}O^{12}$, pour obéir ensuite à l'équation théorique de Lavoisier et Gay-Lussac.

m'a réussi, et je la crois seule praticable avec succès. C'est celle qui consiste à faire fermenter le sucre dans un vase jaugé, primitivement plein de mercure, où l'on introduit successivement les matériaux de la fermentation. Malheureusement elle exige que l'on opère sur un poids de sucre assez minime, par la difficulté de manier sur le mercure des vases d'une grande capacité. Ceux dont je me suis servi avaient un volume de 350 à 450 centimètres cubes, le col compris. Voici les détails d'une expérience :

Un ballon à long col gradué est renversé sur le mercure. J'y fais passer en premier lieu 1 gr. 440 de sucre candi; puis, à l'état de pâte un peu ferme et sous forme de boulette, 0 gr. 3 de levûre lavée fraîche. Enfin j'introduis dans le ballon 8 gr. 980 d'eau à 15°, puis je porte à l'étuve de 25 à 33°.

Quinze jours après, la fermentation est terminée, et je me suis assuré en effet ultérieurement par la liqueur de cuivre qu'il n'y avait plus traces de sucre. Si l'équation

$$C^{12}H^{11}O^{11} + HO = 2C^4H^6O^2 + 4CO^2$$

était celle de la fermentation alcoolique, 1,440 de sucre candi devraient donner 374 cc. 8 de gaz carbonique à 0° et 760 de pression. Or, après toutes les corrections de température et de pression, j'ai trouvé, pour le volume du gaz à 0° et à 760, un volume égal à 358 cc. 0.

La différence avec le volume théorique est de 16 cc. 8. 16 cc. 8 d'acide carbonique pèsent 0 gr. 0332 et correspondent à 0 gr. 0645 de sucre candi. De telle sorte qu'en partant du dosage de l'acide carbonique on trouve que, sur les 1 gr. 440 de sucre candi employé, il y en a 0 gr. 0645 qui ont disparu sans obéir à l'équation théorique. Cela correspond à une perte de 4,4 pour 100 du poids du sucre mis en expérience [1].

1. Ces expériences sont fort délicates. Il faut en faire les mesures en hiver lorsque la température est voisine de zéro, afin que les corrections aient la plus faible valeur. Mieux encore et en toute saison, on se sert d'un manchon de fer-blanc qui permet d'entourer de glace le ballon. On commence par mastiquer une large rondelle de liège sur le col du ballon renversé. Le manchon est alors adapté sur ce liège. Un tube de verre fixé dans le liège donne issue à l'eau de fusion de la glace.

Il est bon de disposer le liège à une telle hauteur que toute la partie du ballon occupée par le gaz soit entièrement plongée dans la glace, et que le liquide fermenté soit logé dans la portion du goulot située entre le liège et le niveau du mercure dans l'éprouvette, lorsque le niveau du mercure est le même à l'intérieur du ballon et à l'extérieur dans l'éprouvette.

Si le liquide fermenté était en partie plongé dans la glace on ne connaîtrait pas sa température et il y aurait incertitude sur la correction relative à la solubilité de l'acide carbonique dans ce liquide.

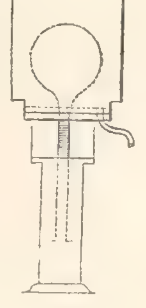


FIG 1.

Cette dernière correction est la plus délicate. Pour la faire, j'ai toujours employé un liquide ayant la composition présumée du liquide fermenté et obtenu par mélange

Cela posé, voyons si ce résultat s'accorde avec l'analyse du liquide fermenté qu'il est facile de recueillir sans perte. Je me suis d'abord assuré qu'il n'y restait pas traces de sucre. Après filtration et évaporation ménagée, je l'ai saturé par l'eau de chaux. Il a fallu 4 cc. 3 d'une eau de chaux dont 28 centimètres cubes neutralisent 0,06125 d'acide sulfurique, SO^3,HO. On déduit de ces données et en ramenant à 100 de sucre, qu'il s'est formé 0,784 d'acide succinique, nombre qui doit être un peu élevé, comme nous le savons, parce qu'une petite quantité de la chaux est saturée par un autre acide que l'acide succinique. La levûre elle-même apporte un peu d'acide. Il a fallu 0 cc. 3 d'eau de chaux pour saturer les acides d'un poids de levûre égal à celui de la levûre employée. Tout cela réduit la proportion d'acide succinique à 0,7 pour 100 du poids du sucre.

La glycérine a été déterminée avec soin, elle pesait 0 gr. 0505, ce qui correspond à 3,5 pour 100 du poids du sucre.

Les proportions des différents produits de la fermentation sont ici, à peu de chose près, ce qu'ils étaient dans la fermentation de 100 grammes de sucre dont nous avons détaillé précédemment l'analyse.

Ce n'est donc pas une perte de 4,4 pour 100 du poids de sucre que nous devrions trouver par le dosage de l'acide carbonique, mais une perte de 6 pour 100 environ, parce qu'il faut ajouter à la glycérine et à l'acide succinique, d'une part l'augmentation du poids de la levûre, de l'autre les matières destinées à rétablir l'équation entre le sucre, l'acide succinique et la glycérine. La différence entre le résultat théorique et le résultat expérimental aurait dû être de 22 cc. 2 au lieu de 16 cc. 8. Différence = 5 cc. 4. L'erreur sur le volume de l'acide carbonique ne pouvant être, à beaucoup près, de cet ordre, il faut admettre nécessairement qu'il y a plus d'acide carbonique formé que n'en exige l'équation

$$C^{12}H^{11}O^{11} + HO = 2C^4H^6O^2 + 4CO^2,$$

appliquée au poids total de sucre 1 gr. 440 diminué des $\frac{6}{100}$ de ce poids. En d'autres termes, la réaction qui donne l'acide succinique et la glycérine fournirait, prise à part, une certaine proportion d'acide carbonique. Nul doute que l'équilibre entre l'acide succinique et la glycérine d'une part, et le sucre de l'autre, ne soit rétabli par cet

direct d'eau, d'alcool, d'acide succinique et de glycérine, sur lequel j'étudiais à part la solubilité de l'acide carbonique dans les conditions de température où se trouvait le liquide du ballon. La solubilité a toujours été plus faible que dans l'eau pure.

Pour la correction de la tension de la vapeur aqueuse ou alcoolique, je me suis contenté de celle donnée dans les tables pour la vapeur d'eau. En opérant à zéro, elle est toujours assez faible pour qu'il n'en résulte pas une erreur sensible, bien que le liquide ne soit pas de l'eau pure.

excès de gaz carbonique. Non seulement nous pouvions pressentir ce résultat par la différence des proportions de glycérine et d'acide succinique et l'absence de toute matière solide fort oxygénée parmi les autres produits de la fermentation, mais le dosage de l'acide carbonique seul établit matériellement qu'il se forme un volume de ce gaz supérieur à celui qu'exige l'équation de Lavoisier et de Gay-Lussac appliquée à tout le sucre qui peut la subir.

Il reste néanmoins à chercher entre les éléments du sucre et ceux de l'acide succinique, de la glycérine et de l'acide carbonique, une équation qui puisse être regardée, sinon comme l'expression rigoureuse des faits, au moins comme leur expression très approchée. Je me suis fait une loi, dit M. Chevreul, dans mes analyses immédiates de reconnaître, d'une manière aussi rigoureuse que le permet l'état actuel de la science, la composition des corps séparés par l'analyse. On ne saurait trop répéter, ajoute l'illustre chimiste, qu'une analyse n'est satisfaisante qu'autant que l'on a séparé d'une quantité donnée de matière tout ce qu'il est possible d'en isoler, et que les produits séparés, réduits à des espèces chimiques déterminées, représentent par leurs poids respectifs le poids de la matière analysée [1]. Je me suis efforcé de suivre ces sages préceptes. Il est aussi utile que nécessaire de se persuader que l'esprit n'est satisfait, ainsi que le dit M. Chevreul, qu'à la condition de leur application sévère dans toutes les recherches analytiques.

L'équation suivante concorde avec les résultats des analyses. Je n'oserais cependant la donner comme exacte ; mais il est probable qu'elle est peu éloignée de la vérité et qu'elle se simplifierait si l'on pouvait y faire entrer plus complètement les détails du phénomène. Je n'ai pas la confiance de croire que j'ai réussi à mettre en évidence tous les produits de la fermentation alcoolique dans des rapports rigoureux. Je n'ai pu m'occuper que de ceux qui interviennent pour une part appréciable à la balance ou aux mesures de volumes.

Ce qui importe surtout ici est l'équation de fait, matérielle, entre le sucre et la somme des principaux produits. Quant à l'équation chimique formulée en équivalents, est-il bien possible de l'établir pour un acte aussi compliqué ? Au moment où il se fait de l'alcool, il se forme simultanément de l'acide carbonique, de l'acide succinique, de la glycérine, de la cellulose, de la matière grasse, et sans doute beaucoup d'autres substances peut-être aussi essentielles que ces deux dernières à la vie des globules et par suite au phénomène de

1. Chevreul. Considérations générales sur l'analyse organique et sur ses applications. *Paris*, 1824, in-8°. (*Note de l'Édition.*)

transformation chimique du sucre, bien que leur poids total doive être extrêmement minime.

La science est trop peu avancée pour espérer mettre en équation rigoureuse un acte chimique corrélatif d'un phénomène vital.

Cependant je reconnais que des doutes s'élèveraient sur l'exactitude de mes résultats, s'il n'était pas possible d'établir une équation entre le sucre et les principales matières qui accompagnent l'acide carbonique et l'alcool, puisque de leur côté ces deux derniers produits paraissent former équation avec une portion du sucre. C'est à ce point de vue et avec ces réserves que l'équation suivante mérite d'être mentionnée.

On trouve que 4,5 de sucre candi en se détruisant selon l'équation

$$\underbrace{49C^{12}H^{11}O^{11}}_{\text{Sucre.}} + \underbrace{109HO}_{\text{Eau.}} = \underbrace{12C^8H^6O^8}_{\text{Ac. succinique.}} + \underbrace{72C^6H^8O^6}_{\text{Glycerine.}} + \underbrace{60CO^2}_{\text{Ac. carbon.}} \quad (1)$$

fournissent

Acide succinique	0,760
Glycérine	3,607
Acide carbonique	0,708
Total.	5,075.

Ces nombres, en ce qui concerne la glycérine et l'acide succinique, diffèrent peu de ceux de l'expérience, pour une fermentation de 100 grammes de sucre. Quant à la proportion de l'acide carbonique, c'est bien également celle qui est exigée. En effet, si l'on prend les 0,708 centièmes de 1 gr. 440 qui est le poids de sucre de la fermentation que nous avons examinée tout à l'heure, on trouve 0 gr. 010. Or 0 gr. 010 d'acide carbonique représentent 5 centimètres cubes de gaz carbonique. C'est précisément l'excès de volume de ce gaz dans cette fermentation, calculé d'après les poids des matières autres que l'alcool et l'acide carbonique qui lui correspond.

Tout s'accorde donc pour nous faire admettre qu'indépendamment de l'acide succinique, de la glycérine et des autres produits que nous examinerons ultérieurement, et au nombre desquels se trouve la cellu-

1. Cette équation peut s'écrire :

$$C^{12}H^{12}O^{12} + 48C^{12}H^{12}O^{12} + 60HO = 12C^8H^6O^8 + 72C^6H^8O^6 + 60CO^2.$$

Sous cette forme, en divisant tous les termes par 12, on a

$$C^1H^1O^1 + 4C^{12}H^{12}O^{12} + 5HO = C^8H^6O^8 + 6C^6H^8O^6 + 5CO^2.$$

Ne se pourrait-il pas qu'une petite quantité de cellulose et d'eau, représentée par le poids $C^1H^1O^1$, intervînt avec un poids de sucre égal à $4\ C^{12}H^{12}O^{12}$ pour former, en assimilant 5HO, les proportions d'acide succinique, de glycérine et d'acide carbonique indiquées dans le second membre de cette dernière équation ?

lose, il se forme de l'acide carbonique intimement lié à l'existence de l'acide succinique et de la glycérine, et rétablissant l'équation entre ces produits et le sucre.

§ VII. — *Addition au paragraphe précédent.*

J'avais terminé les dosages du gaz acide carbonique produit pendant la fermentation, et dont il vient d'être parlé, lorsque je reconnus un fait très inattendu qui m'inspira quelques doutes sur les mesures et les conséquences du paragraphe précédent. J'arrivai à ce résultat que la levûre mise en excès en présence d'une très petite quantité de sucre, après l'avoir transformé à la manière ordinaire, exerce son activité sur ses propres tissus avec une grande énergie et fournit ainsi des quantités relativement considérables d'acide carbonique et d'alcool. Je me demandai naturellement si l'excès de gaz carbonique trouvé dans les expériences analogues à celles du paragraphe précédent ne pourrait pas être attribué à ce phénomène de fermentation des matières hydrocarbonées de la levûre postérieurement à la disparition du sucre.

Il y avait un moyen très sûr de s'en rendre compte. C'était de produire la fermentation du sucre à l'aide d'une matière albuminoïde et d'une quantité en quelque sorte impondérable de levûre employée seulement comme semence. Il ne pourrait se former de cette manière que la quantité de levûre nécessaire au dédoublement du sucre; et dans tous les cas, comme la cellulose de la levûre qui prendrait naissance serait constituée par une portion du sucre, si elle venait à se décomposer elle-même partiellement, les produits de cette décomposition seraient en définitive originaires du sucre mis en fermentation.

Je refis donc une expérience semblable à celle décrite au paragraphe précédent sans employer de levûre ordinaire, mais seulement les substances propres à la faire développer sous l'influence de quelques globules frais et adultes.

Dans un ballon de 400 centimètres cubes gradué sur son col, j'introduisis en premier lieu 1 gr. 498 de sucre; puis 0 gr. 165 de matière albuminoïde et minérale dissoute dans 10 cc. 2 d'eau pure mêlée d'une quantité extrêmement petite de levûre fraîche. La fermentation fut achevée au bout de huit jours. Toutes corrections faites, le volume total du gaz carbonique à 0° et 760 de pression s'est trouvé égal à 372 cc. 8.

D'après l'équation théorique, 1,498 de sucre candi devraient fournir 389 cc. 9; différence 17 cc. 1 de gaz carbonique. Cette différence

correspond à 4,38 pour 100 de perte sur le poids du sucre. C'est le même résultat qu'au paragraphe précédent. La perte du sucre, calculée d'après le dosage de l'acide carbonique, est trop faible de 1,5 pour 100.

La cause d'erreur que je craignais n'existe donc pas, et nous pouvons admettre en toute sécurité que si l'on se sert d'une quantité de levûre qui n'est pas trop grande, après avoir fait fermenter le sucre, elle a assez perdu de son activité pour ne plus pouvoir se détruire partiellement elle-même, et tout l'acide carbonique dégagé dans ces conditions provient exclusivement du sucre mis en fermentation. Je reviendrai dans la deuxième partie de ce Mémoire sur ces faits remarquables, destinés à jeter une vive lumière sur la nature et la manière d'agir de la levûre de bière.

§ VIII. — *L'acide succinique et la glycérine sont des produits constants de la fermentation alcoolique.*

En suivant les méthodes que j'ai précédemment indiquées, j'ai analysé un nombre considérable de fermentations alcooliques effectuées dans les conditions les plus diverses. J'ai fait varier la température, la pression, les poids de levûre, les poids de sucre, la nature des sucres, l'origine et la nature des levûres, l'état de neutralité et d'acidité du milieu. Je me suis servi de levûres tout organisées, d'autres fois je les ai fait naître spontanément par le contact de l'air à l'origine ou par la semence de globules frais de levûre adulte. Dans toutes ces circonstances si multipliées et si diverses, je n'ai jamais pu m'opposer à la formation soit de la glycérine, soit de l'acide succinique. Ce sont des produits constants de la fermentation alcoolique au même titre que l'acide carbonique et l'alcool (1). Nous verrons qu'il faut y joindre

1. Le tableau suivant donne quelques résultats relatifs aux fermentations des principaux sucres fermentescibles.

Il faut voir dans les résultats de ce tableau la preuve que tous les sucres donnent par la fermentation de l'acide succinique et de la glycérine,

Il serait nécessaire d'opérer sur des poids de sucre plus considérables si l'on voulait déterminer les variations des proportions d'acide succinique et de glycérine pour les divers sucres. Néanmoins, comme les conditions des fermentations de ce tableau ont été rigoureusement les mêmes, je crois que l'on peut conclure : 1° que ce sont le sucre incristallisable et le lactose qui donnent le plus de glycérine et d'acide succinique ; 2° que le sucre candi est celui qui exige la moindre formation de levûre pour sa fermentation complète; 3° que le glucose est celui qui met le moins de temps à fermenter.

Je crois devoir ajouter ici que M. H. Rose a publié, sur la fermentation comparée du glucose et du sucre de canne et les proportions de levûre nécessaires à la fermentation de ces sucres, des résultats qui sont en désaccord évident avec plusieurs observations de mon travail, et que je regarde comme tout à fait exagérés. [Rose. Ueber die Gahrungsfahigkeit der Zuckerarten. *Annalen der Physik u. Chemie*, LII, 1841, p. 293-297.] D'après M. H. Rose, il faudrait huit fois plus de ferment avec le sucre de canne qu'avec le glucose pour y exciter la même

une portion sensible de cellulose provenant du sucre, et de la matière grasse, qui se fixent sur les globules dont l'organisation et le développement sont corrélatifs de toute fermentation alcoolique.

Il se présente ici une question délicate dont la solution définitive est bien difficile. L'habitude que nous avons d'envisager le phénomène

fermentation, et avec des quantités égales mais faibles de levûre, la fermentation du glucose peut être achevée en quelques jours, tandis que celle du sucre de canne serait nulle, même après plusieurs mois. Le glucose fermente un peu mieux et plus promptement que le sucre de canne, mais la différence n'a rien d'excessif et les proportions de levûre exigées pour la fermentation complète des deux sucres sont tout à fait du même ordre.

	9 gr 873 de lactose 20 cent. cubes d'eau de levûre Traces de levûre	9 gr 948 de lactose. 20 cent. cubes d'eau de levure Traces de levûre.	9 gr 814 de glucose 20 cent. cubes d'eau de levûre. Traces de levure	9 gr 976 de sucre incrist. en sirop. 20 cent. cubes d'eau de levure. Traces de levure.	9 gr 890 de sucre cand. 20 cent. cubes d'eau de levure. Traces de levure.
Poids de levure formée	0,194	0,192	0,170	0,136	0,152
Poids d'extrait restant dans le liquide fermenté	»	»	0,295	»	0,260
Poids d'acide succinique	»	0,075	0,066	0,058	0,68
Poids de glycérine	»	0,338	0,297	0,28	0,288
Durée de la fermentation	Quatorze jours.	Quatorze jours	Dix jours	Treize jours.	Onze jours

Les poids d'acide succinique sont un peu forts parce qu'ils ont été calculés d'après le poids de chaux nécessaire pour la saturation.

Les poids d'extrait du liquide fermenté sont au contraire un peu faibles, parce qu'ils ne comprennent pas la portion qui se retrouve fixée sur le succinate.

J'appelle LACTOSE le sucre qui se forme par l'action des acides sur le sucre de lait. Celui-ci était cristallisé et perdait 2,8 pour 100 à 100°.

Le glucose provenait du sucre de canne interverti par les acides. Il était bien cristallisé et a perdu 9,03 pour 100 après quatre jours à 100°.

Le sucre incristallisable provenant du sucre de canne interverti par les acides. Le sucre abandonné deux années en sirop, après avoir éliminé l'acide, a donné du glucose cristallisé déviant à droite et du sirop incristallisable déviant à gauche. Les 9,976 de sirop renfermaient 6,98 de sucre $C^{12}H^{12}O^{12}$, déterminés par la liqueur de cuivre et la dessiccation à 100°.

Les 20 centimètres cubes de levure renfermaient 0 gr. 334 de matière albuminoïde et minérale.

On a beaucoup discuté sur la transformation préalable du sucre de canne en sucre de raisin dans la fermentation alcoolique. Le sucre, dit-on, n'est pas directement fermentescible ; il doit se transformer d'abord en sucre de raisin, et c'est dans la partie soluble de la levûre de bière que résiderait la faculté de transformation du sucre de canne.

Tout ce que l'on a écrit à ce sujet manque de preuves solides. Pour moi, je pense que la formation du sucre de raisin tient tout simplement à la production constante de l'acide succinique, que ce n'est qu'un phénomène accessoire et qu'il n'est nullement nécessaire que le sucre de canne devienne d'abord sucre de raisin pour éprouver la fermentation, à moins que l'on entende par là que le sucre de canne ne peut se dédoubler en alcool et en acide carbonique qu'après avoir assimilé 1 équivalent d'eau.

En d'autres termes, je ne pense pas qu'il y ait dans les globules de levûre aucun pouvoir particulier de transformation du sucre de canne en sucre de raisin. Mais l'acide succinique étant un produit constant de la fermentation alcoolique, le sucre doit éprouver en sa présence l'effet qu'il éprouve en général par l'action des acides.

Il sera utile de rechercher si le mélitose, le tréhalose et le mélézitose, sucres fermentescibles signalés dans ces derniers temps par M. Berthelot, [Sur le tréhalose, nouvelle espèce de sucre. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLVI, 1858, p. 1276-1279. — Sur le mélézitose, nouvelle espèce de sucre. *Ibid.*, XLVII, 1858, p. 224-227] donnent également de l'acide succinique et de la glycérine. Cela est extrêmement probable.

de la fermentation alcoolique avec une grande simplicité portera beaucoup de personnes à croire que la glycérine et l'acide succinique sont des produits accessoires de la fermentation alcoolique, peut-être corrélatifs d'une autre fermentation parallèle, accomplie sous une influence particulière et inconnue; et qu'il faudrait faire deux parts dans le sucre, l'une se dédoublant en alcool et acide carbonique, l'autre qui donnerait de la glycérine, de l'acide succinique et de l'acide carbonique. Le dédoublement du sucre en alcool et acide carbonique resterait donc non seulement possible théoriquement, mais serait encore réalisé dans l'acte de la fermentation alcoolique, où nous trouverions l'exemple de deux réactions chimiques simultanées s'accomplissant en vertu de forces distinctes (1).

Sans nul doute je m'arrêterais à cette manière de voir, si j'avais pu dans quelques cas particuliers faire fermenter un sucre sans qu'il y eût production d'acide succinique et de glycérine. Mais, dans plus de cent analyses de fermentations effectuées dans les conditions les plus différentes, je n'ai jamais obtenu ce résultat. J'ai vu quelquefois diminuer ou augmenter les proportions de ces deux produits, sans que leur rapport fût modifié sensiblement dans la limite d'exactitude de mes procédés analytiques; mais dans aucun cas ils n'ont disparu.

Les variations dans les proportions de l'acide succinique, de la glycérine et, par suite, des autres produits de la fermentation ne doivent pas surprendre dans un phénomène où les conditions apportées par le ferment paraissent devoir être si changeantes. Ce qui m'a surpris au contraire, c'est la constance habituelle des résultats. Les diverses analyses de ce Mémoire nous en offrent assez de preuves.

Je suis donc très porté à voir dans l'acte de la fermentation alcoolique un phénomène simple, unique, mais très complexe comme peut l'être un phénomène corrélatif de la vie, donnant lieu à des produits multiples, tous nécessaires.

Les globules de levûre, véritables cellules vivantes, auraient pour

1. Si la glycérine et l'acide succinique étaient des produits d'une fermentation parallèle à la fermentation alcoolique, la levûre de bière, selon toute probabilité, se trouverait mélangée à quelque autre levûre pendant la fermentation. Mais les études microscopiques les plus multipliées m'ont appris que la levûre reste parfaitement homogène, sans aucun mélange, et que l'on n'y observe que des altérations dans la structure intérieure de ses globules. Si le microscope accuse autre chose que des globules de levûre de bière, on peut être assuré que c'est quelque nouvelle levûre qui a pris naissance par l'effet de circonstances accidentelles et anormales. La composition du milieu en avertit aussitôt. Les produits propres à ces levûres particulières se retrouvent en dissolution dans la liqueur. Mais l'acide succinique et la glycérine existent dans toutes les fermentations normales sans qu'aucune matière, différente de la levûre alcoolique, puisse expliquer leur formation.

fonction physiologique corrélative de leur vie la transformation du sucre, à peu près comme les cellules de la glande mammaire transforment les éléments du sang dans les divers matériaux du lait, corrélativement à leur vie et aux mutations de leurs tissus.

Mon opinion présente la plus arrêtée sur la nature de la fermentation alcoolique est celle-ci : L'acte chimique de la fermentation est essentiellement un phénomène corrélatif d'un acte vital, commençant et s'arrêtant avec ce dernier. Je pense qu'il n'y a jamais fermentation alcoolique sans qu'il y ait simultanément organisation, développement, multiplication de globules, ou vie poursuivie, continuée, de globules déjà formés. L'ensemble des résultats de ce Mémoire me paraît en opposition complète avec les opinions de MM. Liebig et Berzelius.

Je professe les mêmes idées au sujet de la fermentation lactique, de la fermentation butyrique, de la fermentation de l'acide tartrique et de beaucoup d'autres fermentations proprement dites que j'étudierai successivement.

Maintenant, en quoi consiste pour moi l'acte chimique du dédoublement du sucre et quelle est sa cause intime ? J'avoue que je l'ignore complètement.

Dira-t-on que la levûre se nourrit de sucre pour le rendre ensuite comme un excrément sous forme d'alcool et d'acide carbonique ? Dira-t-on au contraire que la levûre produit en se développant une matière telle que la pepsine, qui agit sur le sucre et disparaît aussitôt épuisée, car on ne trouve aucune substance de cette nature dans les liqueurs ? Je n'ai rien à répondre au sujet de ces hypothèses. Je ne les admets ni ne les repousse et veux m'efforcer toujours de ne pas aller au delà des faits. Et les faits me disent seulement que toutes les fermentations proprement dites sont corrélatives de phénomènes physiologiques.

§ IX. — *De la production accidentelle de l'acide lactique dans la fermentation alcoolique.*

J'ai rappelé au commencement de ce Mémoire l'opinion commune des chimistes sur la nature de l'acide que Lavoisier signala le premier parmi les produits de la fermentation alcoolique. Lavoisier croyait que c'était de l'acide acétique. Plus tard on le prit pour de l'acide lactique.

La vérité est que l'acide lactique pas plus que l'acide acétique ne sont des produits de la fermentation alcoolique. Lorsque l'on trouve

de l'acide acétique, c'est que le liquide fermenté a eu le contact de l'air dans des conditions toutes particulières ; quant à l'acide lactique, c'est un produit également accidentel.

Les expériences les plus précises et les plus multipliées m'ont prouvé qu'il ne se forme pas la plus petite quantité d'acide lactique dans la fermentation alcoolique[1].

Toutes les fois qu'il y apparaît, et le cas est des plus rares, à moins que l'on ne choisisse les conditions favorables, on peut être assuré que la levûre de bière est mêlée de levûre lactique. Les deux levûres vivant chacune pour son propre compte déterminent les transformations qui leur sont habituelles, et alors on trouve constamment dans le liquide fermenté, outre la glycérine et l'acide succinique, de l'acide lactique et de la mannite, ainsi qu'un nouvel acide sur lequel j'appellerai bientôt l'attention des chimistes.

D'ailleurs rien n'est plus facile que de reconnaître par le microscope, après que la fermentation est terminée ou pendant qu'elle s'accomplit, si la levûre de bière est mêlée à de la levûre lactique. Celle-ci par sa forme, son volume, son fourmillement est tellement différente de la levûre de bière, qu'on la distingue aisément. On n'aurait de peine que dans le cas où l'on se serait servi de levûre de bière brute, salie par des poussières ou des corps étrangers de la dimension des petits articles de la levûre lactique. Il faut alors une certaine habitude pour la reconnaître. Mais il est facile d'opérer avec de la levûre préalablement lavée; les poussières ou petits corps étrangers dont elle est mélangée sont éloignés par la décantation de l'eau de lavage ou se déposent les premiers au fond du vase.

Le moyen chimique le plus exact de s'assurer de la présence ou de l'absence de l'acide lactique consiste à faire l'analyse complète du liquide fermenté. Cette analyse diffère peu de celle que l'on effectue pour séparer l'acide succinique de la glycérine. Je vais l'exposer sommairement : j'y reviendrai dans un Mémoire détaillé sur les produits de la fermentation lactique.

Le liquide fermenté, évaporé avec soin, est traité par le mélange d'alcool et d'éther qui dissout la glycérine, l'acide succinique, l'acide lactique et le nouvel acide auquel j'ai fait allusion tout à l'heure. La mannite et les matières albuminoïdes restent insolubles.

1. Les expériences de l'un des paragraphes précédents sur le dosage de l'acide carbonique dans la fermentation alcoolique suffisent pour établir qu'il ne se forme pas du tout d'acide lactique quand on les rapproche des dosages de l'acide succinique et de la glycérine. La plus faible production d'acide lactique serait accusée par une diminution sensible dans le volume de l'acide carbonique.

Cette solution complexe est évaporée et saturée par de l'eau de chaux pure. Après nouvelle évaporation, on reprend par le mélange éthéré qui dissout la glycérine. Le résidu insoluble est mis à bouillir avec de l'alcool à 90 ou 95° qui enlève le lactate de chaux et ne touche ni au succinate, ni à l'autre sel de chaux, tous deux insolubles dans l'alcool fort.

§ X. — *Des variations que l'on observe dans les proportions des produits de la fermentation.*

Dans les fermentations de sucre de canne, sous l'influence de la levûre de bière, les proportions de la glycérine peuvent varier de 2,5 à 3,6 pour 100 du poids du sucre ; celles de l'acide succinique de 0,5 à 0,7. Excepté le vin, où la proportion de ces substances paraît beaucoup augmentée, je n'ai jamais trouvé des nombres inférieurs ou supérieurs à ceux qui précèdent. Quant à la perte de sucre, je veux dire la quantité de sucre qui ne suit pas l'équation théorique, elle se trouve comprise entre 4,5 et 6 pour 100.

Ces variations dans les proportions de glycérine, d'acide succinique,..., qui en entraînent de correspondantes pour l'alcool et l'acide carbonique, soulèvent une question très importante que je regrette de ne pouvoir qu'effleurer, celle des causes de ces variations. Tout ce que je puis dire de général se résume dans les quelques propositions suivantes :

Il se forme d'autant plus de glycérine et d'acide succinique, et d'autant moins d'alcool, que la fermentation est plus longue, qu'elle se fait avec de la levûre plus épuisée, moins jeune, ayant peu d'aliments et des aliments mal appropriés à la multiplication de ses globules.

Les fermentations par ensemencement en présence d'une quantité plus que suffisante de matières albuminoïdes et minérales appropriées à la nature des globules fournissent moins de glycérine et d'acide succinique et plus d'alcool.

Une faible acidité de la liqueur m'a paru diminuer également les proportions de glycérine et d'acide succinique ; cela se présente, par exemple, dans les cas où il prend naissance un peu de levûre lactique. Le contraire arrive si le milieu est neutre (1).

Je dois dire cependant qu'il m'est arrivé de rencontrer dans

1. Je donnerai ultérieurement les proportions d'acide succinique et de glycérine formés dans la fermentation alcoolique en présence de la craie ou des alcalis.

certains cas, et sans que j'aie pu en deviner la cause, des exceptions à ces résultats généraux de mes analyses. Mais ce qui montre mieux que je n'ai saisi encore que par quelques côtés l'origine des changements qui surviennent dans les proportions des divers produits de la fermentation, ce sont les résultats que j'ai obtenus dans l'étude du vin, où l'on trouve ordinairement de très fortes proportions de glycérine et d'acide succinique ; et pourtant la fermentation du moût de raisin s'accomplit dans un milieu acide, en présence de matières albuminoïdes et minérales qui paraissent on ne peut mieux appropriées à la nature de la levûre alcoolique.

DEUXIÈME PARTIE

Ce que devient la levure de bière dans la fermentation alcoolique.

§ I. — *Historique de l'état actuel de la science sur la levûre de bière et ses modifications pendant la fermentation alcoolique.*

Leeuwenhoek [1] en 1680 étudie la levûre de bière au microscope et la trouve formée de très petits globules sphériques ou ovoïdes. Mais la nature chimique de cette substance est inconnue. Dans un Mémoire sur les fermentations couronné en 1787 par l'Académie de Florence, et lu à la Société philomatique de Paris en 1799, Fabroni, savant italien, au milieu de beaucoup de vues et de faits erronés, rapproche et identifie même la levûre avec le gluten. C'était un progrès. Cela donnait une indication sur la place que doit occuper la levûre parmi les produits organiques. C'était l'assimiler aux matières dites alors animales, c'est-à-dire qui fournissent de l'ammoniaque à la distillation [2].

1. Leeuwenhoek (A. van). Arcana naturæ detecta. Experimenta et contemplationes. *Delphis Batavorum*, 1695, 568 p. in-8° (fig.). P. 6-16. (*Note de l'Édition.*)

2. *Voir* le résumé critique du travail de Fabroni par Fourcroy [Notice d'un Mémoire du cit. Fabroni sur la fermentation vineuse, putride, acéteuse, et sur l'éthérification, lu à la Société philomatique le 3 fructidor, an VII ; et réflexions sur la nature et les produits de ces phénomènes]. *Annales de chimie*, XXXI, an VII, p. 299-327.

« La fermentation n'est qu'une décomposition d'une substance par une autre, comme celle d'un carbonate par un acide, ou du sucre par l'acide nitrique... La matière qui décompose le sucre [dans l'effervescence vineuse] est la substance végéto-animale ; elle siége dans des utricules particulières, dans le raisin comme dans le blé. En écrasant le raisin, on mêle cette matière glutineuse avec le sucre, comme si on versait un acide et un carbonate dans un vase ; dès que les deux matières sont en contact, l'effervescence ou la fermentation y commence, comme cela a lieu dans toute autre opération de chimie. » Fabroni [p. 301-302].

Voici les réflexions de Fourcroy sur la proposition de Fabroni relative au gluten :

Cette assertion de Fabroni mit en quelque sorte à l'ordre du jour la question de la nature du ferment.

On jugeait que Lavoisier avait résolu les difficultés de la fermentation pour ce qui regardait la matière fermentescible, mais on n'avait aucune idée sur la nature du corps qui provoquait le dédoublement du sucre. Aussi, en l'an VIII, une année après la publication en France du travail de Fabroni, la classe des sciences physiques et mathématiques de l'Institut proposa pour sujet de prix la question suivante : « Quels sont les caractères qui distinguent dans les matières végétales et animales celles qui servent de ferment de celles auxquelles elles font subir la fermentation ? » Encouragé par cette proposition de l'Institut, M. Thenard essaya de résoudre le problème, et il publia en l'an XI un Mémoire remarquable [1] dans lequel il s'occupe principalement de la nature du ferment, de son origine, de son altération pendant l'acte de la fermentation. En voici le résumé :

Tous les jus sucrés naturels, mis en fermentation spontanée, donnent un dépôt qui a l'aspect de la levûre de bière et, comme elle, le pouvoir de faire fermenter l'eau sucrée pure. Cette levûre est de nature animale, c'est-à-dire qu'elle est azotée et qu'elle donne beaucoup d'ammoniaque à la distillation.

Pendant l'acte de la fermentation la levûre perd progressivement son azote et disparaît pour une partie se transformant en produits solubles.

En réduisant les nombres de la seule expérience que rapporte M. Thenard à 100 parties, 20 parties de levûre de bière fraîche et 100 parties de sucre ont laissé, après avoir fermenté complètement, 13,7 parties d'un résidu insoluble, encore actif, et qui, épuisé par le contact d'une nouvelle quantité de sucre, s'est réduit à 10 parties. « Ce dernier résidu était blanc, présentait toutes les propriétés du

« Je ferai remarquer que la substance glutineuse que le citoyen Fabroni regarde comme l'espèce de ferment constant du sucre ne paraît pas être la seule matière susceptible de cet effet; puisqu'il semble que la fécule, le mucilage, l'extractif même en petite proportion, sont également capables de faire fermenter le corps sucré, comme on le voit dans les sirops, les miels pharmaceutiques. Il est vrai que le citoyen Fabroni peut dire qu'il y a toujours plus ou moins de matière végéto-animale dans ces diverses substances, mais il manque à sa théorie d'avoir prouvé la présence de cette matière dans le moût de raisin et dans les sucres fermentescibles divers » [p. 317-318].

Dans ce travail de Fourcroy, je trouve le passage suivant :

« Depuis l'époque de la nouvelle nomenclature, établie à la fin de l'été 1787, je m'étais élevé contre l'expression de fermentation *spiritueuse*, puisque le mot d'*esprit* devait être désormais banni de la science. J'avais proposé les noms de *fermentation vineuse* ou de *fermentation alcoolique* » [p. 309].

L'expression de *fermentation alcoolique* aurait donc été introduite dans la science par Fourcroy en 1787.

1. Thenard [Mémoire sur la fermentation vineuse]. *Annales de chimie*, XLVI, an XI, p. 294-320.

ligneux et n'exerçait aucune action sur une nouvelle quantité d'eau sucrée. » Ces résultats, sur lesquels je reviendrai bientôt, ont passé dans tous les ouvrages et ont servi de base à toutes les discussions sur la théorie de la fermentation. Je dois ajouter tout de suite qu'il y a dans le Mémoire de M. Thenard et jusque dans la dernière édition de son *Traité de chimie* un passage curieux sur l'azote du ferment. « De nouvelles recherches, dit-il, dignes de toute l'attention des chimistes, doivent être faites sur la décomposition qu'éprouve le ferment. Il faudra voir ce que peut devenir l'azote du ferment décomposé. Il ne se trouve point mêlé au gaz carbonique; il n'entre point dans la composition de la matière blanche insoluble; il ne fait point partie d'une très petite quantité de matière très soluble que l'on trouve dans la liqueur avec l'alcool. L'alcool n'en renferme pas; de sorte que la question de savoir ce que devient l'azote du ferment est encore à résoudre (1). »

Bien que ce passage, ainsi que je le montrerai, renferme plusieurs erreurs, il témoigne de la préoccupation de M. Thenard sur l'azote du ferment, et de plus que cet éminent chimiste, qui avait fait une étude particulière du sujet, n'acceptait pas les opinions des auteurs sur la transformation de l'azote de la levûre en ammoniaque.

C'est, à ce qu'il paraît, Dœbereiner (2) qui annonça le premier que l'azote de la levûre se trouvait dans la liqueur à l'état de sel d'ammoniaque, assertion qui fut acceptée par tous les chimistes. Elle s'introduisit peu à peu dans les ouvrages élémentaires, celui de M. Thenard excepté.

Quelques années après la publication du Mémoire de M. Thenard, Gay-Lussac fit connaître un résultat fort extraordinaire. En examinant les procédés de M. Appert pour la conservation des substances végétales et animales (3), il remarqua que du moût de raisin qui avait été conservé sans altération pendant une année entière entrait en fermentation quelques jours après avoir été transvasé. Ce fait, dû à Appert, conduisit Gay-Lussac aux expériences que tout le monde connaît, et desquelles il résulte « que l'oxygène est nécessaire pour commencer la fermentation, qu'il ne l'est point pour la continuer (4) ».

Pour rencontrer un nouveau progrès digne d'être mentionné dans

1. THENARD. Traité de chimie élémentaire, 6e édition. *Paris*, 1836, 5 vol. in-8°. T. V, p. 65.

2. DŒBEREINER. Versuche über die Gährung. *Journal für Chemie u. Physik*, XX, 1817, p. 213-214.

3. APPERT. L'art de conserver, pendant plusieurs années, toutes les substances animales et végétales. *Paris*, 1810, in-8° (fig.). (*Notes de l'Édition.*)

4. GAY-LUSSAC. Extrait d'un Mémoire sur la fermentation. *Annales de chimie*, LXXVI, 1810, p. 246.

l'histoire de la fermentation, après les travaux qui précèdent, et celui de M. Colin que j'ai déjà mentionné, il faut arriver jusqu'en 1835 et 1837, à M. Cagniard de Latour [1]. Reprenant les anciennes observations microscopiques de Leeuwenhoek, très incomplètes et que d'ailleurs il ne connaissait pas, M. Cagniard de Latour introduisit dans les études qui nous occupent une idée nouvelle. Avant lui [2] la levûre avait été regardée comme un principe immédiat des végétaux, qui avait la propriété de se précipiter en présence des sucres fermentescibles. M. Cagniard de Latour reconnut « que la levûre était un amas de globules susceptibles de se reproduire par bourgeonnement, et non une matière simplement organique ou chimique, comme on le supposait ».

De ses observations M. Cagniard de Latour avait conclu « que c'est très probablement par quelque effet de leur végétation que les globules de levûre dégagent de l'acide carbonique de la liqueur sucrée et la convertissent en liqueur spiritueuse [3] ».

1. Cagniard de Latour. Observations sur la fermentation du moût de bière. *L'Institut*, 23 novembre 1836, IV, p. 389-390. — Mémoire sur la fermentation vineuse. *Annales de chimie et de physique*, 2e sér., LXVIII, 1838, p. 206-222. (*Note de l'Édition.*)

2. Il serait injuste de ne pas rappeler, dans un historique sur la fermentation et à propos même des observations de M. Cagniard de Latour, les recherches microscopiques antérieures dues à M. Desmazières [Recherches microscopiques et physiologiques sur le genre Mycoderma. *Annales des sciences naturelles*, X, 1827, p. 42-67], et publiées dix années avant les travaux de M. Cagniard de Latour, dans les *Annales des sciences naturelles*. Il est vrai que M. Desmazières ne s'est pas occupé de la levûre proprement dite, mais il a le mérite d'avoir étudié au microscope et bien décrit la constitution de la pellicule qui se forme à la surface de la bière et que Persoon en 1822 avait appelée *Mycoderma cervisiae*. Le travail de M. Desmazières a dû mettre sur la voie de l'étude microscopique de la levûre de bière et aider à mieux voir et mieux comprendre sa structure. A cette époque les recherches microscopiques étaient bien plus difficiles qu'aujourd'hui, et M. Cagniard de Latour rapporte lui-même qu'en 1810, s'étant servi d'un microscope très imparfait, il avait cru que la levûre était comme un sable très fin composé de grains cristalloïdes (*Mémoire cité*, p. 208, note 1). M. Desmazières reconnut que la pellicule en question était formée d'une multitude de capsules hyalines, ovoïdes, qui, d'après lui, peuvent se souder bout à bout pour former des tubes plus ou moins rameux, etc. Il reconnut de plus que ces globules sont doués de mouvements particuliers ; il est convaincu de leur vie animale et les range parmi les infusoires. Il est évident que M. Desmazières a confondu le mouvement brownien avec un mouvement vital réel. Les recherches de R. Brown n'ont été publiées qu'en 1828 [et 1830] : [Exposé sommaire des observations microscopiques faites... sur les particules contenues dans le pollen des plantes, et sur l'existence générale de molécules actives dans les corps organisés et inorganisés. *Annales des sciences naturelles*, XIV, 1828, p. 341-362. — Remarques additionnelles sur les molécules actives. *Ibid.*, XIX, 1830, p. 104-110]. C'est dans ses *Remarques additionnelles* que R. Brown rectifie ses premières impressions et s'arrête à l'opinion suivante : « Les particules extrêmement délicates de la matière solide, soit qu'on les obtienne de substances organiques ou inorganiques, lorsqu'elles sont suspendues dans l'eau ou dans quelque autre fluide aqueux, présentent des mouvements qui, d'après leur irrégularité et leur indépendance apparente, ressemblent à un degré remarquable aux mouvements les moins rapides de quelques-uns des animalcules infusoires les plus simples » [p. 104]. Tel est le mouvement qu'offrent les globules de levûre, ou ceux plus petits qui les accompagnent quelquefois. Ce sont ces mouvements qui avaient induit en erreur M. Desmazières et plusieurs naturalistes avant lui.

M. R. Brown lui-même est revenu à deux fois sur ces observations pour les bien comprendre. Ses premières impressions avaient été tout à fait erronées.

3. Cagniard de Latour. Mémoire sur la fermentation vineuse, p. 221

Cette opinion trouva immédiatement dans M. Liebig un puissant contradicteur.

A ses yeux, le ferment est une substance excessivement altérable, qui se décompose et qui excite la fermentation par suite de l'altération qu'elle éprouve elle-même, en ébranlant par communication et désassemblant le groupe moléculaire de la matière fermentescible. Après avoir rappelé les propriétés de la levûre, il s'exprime ainsi : « Les faits que nous venons d'exposer démontrent l'existence d'une cause nouvelle qui engendre des décompositions et des combinaisons. Cette cause n'est autre chose que le mouvement qu'un corps en décomposition communique à d'autres matières dans lesquelles les éléments sont maintenus avec une très faible affinité... La levûre de bière et en général toutes les matières animales et végétales en putréfaction reportent sur d'autres corps l'état de décomposition dans lequel elles se trouvent elles-mêmes ; le mouvement qui par la perturbation de l'équilibre s'imprime à leurs propres éléments se communique également aux éléments des corps qui se trouvent en contact avec elle (1). »

1. LIEBIG. [Sur les phénomènes de la fermentation et de la putréfaction, et sur les causes qui les provoquent]. *Annales de chimie et de physique*, 2e sér., LXXI, 1839, p. 178.
LIEBIG. Lettres sur la chimie, traduction française. *Paris*, 1845, in-16. 16e lettre.
LIEBIG. Nouvelles lettres sur la chimie. *Paris*, 1852, in-16. 28e lettre.
LIEBIG. Traité de chimie organique. *Paris*, 1841-1843, 3 vol. in-8°. Introduction, p. 29.

Note sur le mémoire de M. Cagniard de Latour et l'observation de Gay-Lussac sur l'influence de l'oxygène dans la fermentation.

Lorsque M. Cagniard de Latour eut fait connaître ses premières observations, quelques personnes, comme cela n'arrive que trop souvent, essayèrent d'en diminuer le mérite et répandirent le bruit que ces résultats avaient été déjà publiés en Allemagne par le docteur Schwann. Il est bien avéré, en effet, que MM. Cagniard de Latour et Schwann arrivèrent chacun de son côté presque à la même époque aux mêmes conséquences sur la nature de la levûre. Mais il n'est pas moins certain que la priorité de publication appartient à M. Cagniard de Latour. Voici un passage extrait du Mémoire de M. Schwann [Vorläufige Mitteilung betreffend Versuche über die Weingährung und Fäulniss. *Annalen der Physik u. Chemie*, XLI, 1837, p. 184-193] : « Cette dissertation est la reproduction sans changements de celle qui fut lue dans les premiers jours de février de cette année (1837) en mon nom par le professeur Müller à la réunion de la Société des Amis des sciences naturelles à Iéna. Bientôt après je reçus l'*Institut* du 23 novembre 1836 où je vis que M. Cagniard de Latour avait fait des observations analogues sur la fermentation [du moût] de bière qui m'étaient restées inconnues jusqu'alors. »

Mais le travail de Schwann renferme des observations précieuses qui jettent beaucoup de jour sur l'origine des fermentations spontanées et qui permettent d'interpréter autrement que ne l'a fait Gay-Lussac les expériences d'Appert.

M. Schwann répète les expériences d'Appert en modifiant le procédé sur un point essentiel. Au lieu de se borner à chauffer en vases clos à la température de 100° des liquides fermentescibles, il les place en contact avec de l'air ordinaire préalablement calciné. Même après plusieurs semaines, il ne s'y développe aucune fermentation ou putréfaction. On pouvait croire, et l'on croyait en effet, que dans l'expérience d'Appert l'oxygène de l'air des vases se concrétait, se combinait avec la matière organique. D'autre part, si l'on admet que l'oxygène est nécessaire pour provoquer la fermentation ou la putréfaction, il est facile de se rendre compte de la conservation des matières organiques par la méthode d'Appert. Il suffisait de

Il résulte des études historiques récentes insérées par M. Chevreul au *Journal des savants*, cahier de février 1856 [p. 99], que Stahl avait déjà émis des idées analogues à celles de M. Liebig sur les causes de la fermentation.

M. Liebig a développé ses opinions dans la plupart de ses ouvrages avec une persistance et une conviction qui peu à peu les ont fait triompher. Aujourd'hui elles sont admises généralement en Allemagne et en France. MM. Fremy et Boutron les ont appliquées à la fermentation lactique avec une modification qui a été généralement adoptée. L'idée dominante de leur travail est celle-ci : Dans les matières capables d'agir comme ferment, le caractère de fermentation varie avec le degré d'altération de la substance. Elle est à diverses époques de sa décomposition ferment alcoolique, ferment lactique..., suivant l'état plus ou moins avancé de son altération.

Les idées de M. Liebig ont été également développées et soutenues d'une manière exclusive dans le bel ouvrage que M. Gerhardt a laissé en mourant[1].

A mon sens, voici surtout la cause du succès graduel que les idées de M. Liebig ont acquis auprès des chimistes. Depuis vingt ans on a

dire que ce procédé a pour résultat de faire disparaître tout l'oxygène de l'air par combinaison avec la matière organique. C'était bien là, en effet, l'explication de Gay-Lussac : « Quoi qu'il en soit, dit-il, il me semble que l'on peut parfaitement concevoir la conservation des substances animales et végétales par le procédé de M. Appert. Ces substances, par leur contact avec l'air, acquièrent promptement une disposition à la putréfaction ou à la fermentation; mais en les exposant à la température de l'eau bouillante dans des vases bien fermés, l'oxygène est absorbé, produit une nouvelle combinaison qui n'est plus propre à exciter la fermentation et la putréfaction ou qui devient concrète par la chaleur de la même manière que l'albumine. » [Gay-Lussac. Extrait d'un Mémoire sur la fermentation. *Annales de chimie*, LXXVI. 1810, p. 255.]

La modification apportée par Schwann à l'expérience d'Appert rend inadmissible l'explication de Gay-Lussac, puisque dans l'expérience de Schwann il y a une quantité quelconque d'oxygène en contact avec la matière animale ou végétale; seulement cet oxygène appartient à de l'air calciné. Dès lors la théorie la plus naturelle paraît être celle-ci : L'air renferme quelque chose qui provoque la fermentation ou la putréfaction. Ce quelque chose, germes, ozone, particules solides, fluides..., est détruit par la chaleur. Voilà pourquoi par la méthode d'Appert ou par celle de Schwann on préserve de toute altération les matières fermentescibles ou putrescibles. De même il est présumable que si l'expérience de Gay-Lussac sur les grains de raisin a réussi, c'est que Gay-Lussac en introduisant la bulle d'air ou d'oxygène a mis en contact avec le moût ce quelque chose dont nous parlons, et c'est ce quelque chose qui a fait naître la fermentation, et non l'oxygène comme il le croyait.

Le docteur Schwann ne cite pas les expériences d'Appert. J'ai dû réparer cet oubli. Les expériences de ce savant physiologiste ne sont que la reproduction de celles d'Appert et de Spallanzani (*), modifiées d'une manière ingénieuse et décisive.

Toutes les fois qu'on le peut faire, il est utile de montrer la liaison des faits nouveaux avec les faits antérieurs de même ordre. Rien de plus satisfaisant pour l'esprit que de pouvoir suivre une découverte dès son origine jusqu'à ses derniers développements.

(*) Dans le texte des *Annales de chimie et de physique*, Pasteur ne mentionne pas Spallanzani. (*Note de l'Édition*.)

1. Gerhardt (Ch.). [Traité de chimie organique. *Paris*, 1856, 4 vol. in-8°]. Tome IV, p. 537.

découvert un grand nombre de phénomènes que l'on range à côté de la fermentation alcoolique proprement dite et dans lesquels il a paru impossible de reconnaître l'existence de végétations cryptogamiques particulières, mais dans toutes il y avait une matière, ayant eu vie, en voie d'altération. Et, par exemple, qu'on place du sucre dissous additionné de craie avec une matière animale azotée quelconque, le caséum, le gluten, la fibrine, la gélatine, la présure, une membrane animale..., on voit peu à peu le sucre devenir acide lactique. Or ces matières animales sont de structure, de nature, de formes très diverses, et l'effet définitif sur le sucre est le même. Il n'y a qu'une chose qui paraît être semblable dans ces matières azotées, c'est leur décomposition graduelle. La corrélation se montre donc entre la transformation du sucre en acide lactique et une altération, un mouvement de décomposition.

Des recherches de M. Colin sur la fermentation alcoolique, et qui datent de 1825, avaient déjà établi des faits analogues sur la fermentation alcoolique. Ce chimiste avait reconnu que les matières animales les plus diverses pouvaient provoquer le dédoublement du sucre en alcool et en acide carbonique [1].

Cependant une circonstance remarquable aurait dû éveiller l'attention et commander la prudence, au moins en ce qui concerne la fermentation alcoolique. En effet, après la publication des observations de M. Cagniard de Latour, M. Turpin, qui avait été chargé d'en faire un rapport à l'Académie [2], étudia, sur la demande de M. Thenard, le dépôt qui se forme dans la fermentation alcoolique du sucre par la décoction du blanc d'œuf, et trouva qu'il était constitué uniquement par des globules de levûre de bière.

Si l'une des matières employées par M. Colin, l'albumine, ne provoquait la fermentation alcoolique qu'en donnant naissance à de la levûre, il était présumable que toutes les autres substances azotées se comportaient de même, et dès lors leur diversité ne prouvait rien quant à la théorie de M. Liebig.

Mais je me hâte d'ajouter que rien de pareil n'existait, on le croyait du moins, dans les cas très divers et très nombreux de fermentation lactique. Tous les observateurs s'accordent à dire qu'il n'y a qu'une altération chimique de la matière animale. Les faits relatifs à cette fermentation et à plusieurs autres phénomènes du même ordre eurent dès lors une influence décisive sur la théorie.

1. Colin. Mémoire sur la fermentation du sucre. *Annales de chimie et de physique*, 2e sér., XXVIII, 1825, p. 128-142. — Mémoire sur la fermentation. *Ibid.*, XXX, 1825, p. 42-64.
2. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, VII, 1838, p. 227-232. (*Notes de l'Édition.*)

C'est ainsi que l'idée de M. Cagniard de Latour qui avait eu d'abord un certain crédit fut abandonnée peu à peu. On ne contestait pas, beaucoup de personnes du moins, que la levûre de bière fût organisée, mais on croyait qu'elle se détruisait en partie par la fermentation, comme l'avait dit M. Thenard, et que, ressemblant en cela à toutes les autres matières azotées jouant le rôle de ferment, c'était à cette propriété qu'elle devait son action sur le sucre. Telle est la pensée de M. Liebig.

Berzelius ne partageait pas les idées de M. Liebig, tout en rejetant celles de MM. Cagniard de Latour et de Schwann. Pour lui la fermentation était une action de contact. Il ne croyait même pas à l'existence d'un organisme vivant dans la levûre. « Celle-ci n'était qu'un produit chimique qui se précipitait dans la fermentation de la bière et qui prenait la forme ordinaire des précipités non cristallins, même inorganiques, de petites boules qui se groupent les unes à la suite des autres en forme d'une chaîne de perles [1]. »

Ailleurs il s'exprime ainsi : « Il est clair que, lorsque des produits de corps organisés se décomposent dans l'eau et que des matières dissoutes se précipitent, ces dernières doivent affecter une forme, et que, comme plusieurs d'entre elles n'affectent pas de formes géométriques régulières, il doit en résulter d'autres formes dépendantes de la nature de ces corps qui influent aussi dans la nature vivante à l'égard de la détermination de ces formes, d'où il est tout naturel qu'elles imitent les formes les plus simples des productions de la vie végétale. Cependant la forme seule ne constitue pas encore la vie [2]. »

Disons maintenant quelques mots de la composition chimique de la levûre. Dans le bel ensemble de travaux qu'il publia sur le développement des végétaux, M. Payen donna pour composition immédiate de la levûre :

1. Berzelius. Rapport annuel sur les progrès de la chimie. Traduction par Ph. Plantamour, *Paris*, 1843, in-8°, p. 277.

Dans ses importants écrits sur la fermentation, M. Mitscherlich n'hésite pas à admettre que la levûre soit réellement organisée. Néanmoins il partage les vues de Berzelius sur la manière d'agir de la levûre vis-à-vis du sucre. M. Mitscherlich [Sur les réactions chimiques produites par les corps qui n'interviennent que par leur contact. *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., VII, 1843, p. 30-31] s'exprime ainsi : « Les globules de ferment se comportent donc vis-à-vis du sucre ou vis-à-vis du sucre et de l'eau, qui contiennent les éléments de l'acide carbonique et de l'alcool, absolument comme l'éponge de platine à l'égard de l'eau oxygénée. »

Cette opinion a été plus récemment émise par M. Berthelot, qui l'a en outre, ce me semble, quelque peu associée aux idées de M. Liebig. Je montre dans la seconde partie de mon travail que les faits sur lesquels s'appuie M. Mitscherlich sont entièrement controuvés.

2. Berzelius. Rapport annuel sur les progrès de la chimie. Traduction par Ph. Plantamour. *Paris*, 1845, in-8°, p. 304.

Matière azotée [et traces de soufre]	62,73
Enveloppes de cellulose	29,37
Substances grasses	2,10
Matières minérales	5,80
	100,00 [1].

L'analyse élémentaire a fourni, comme on devait s'y attendre, des résultats qui ont varié avec les différents observateurs, suivant les modes de lavage et de purification qu'ils ont employés et avec l'origine de la levûre soumise à leurs analyses.

Dumas (*Traité de Chimie*) [2].

Carbone	50,6
Hydrogène	7,3
Azote	15,0
Oxygène	27,1
Soufre	
Phosphore	
	100,0.

Mitscherlich (*Eléments de Chimie*) [3].

Carbone	47,0
Hydrogène	6,6
Azote	10,0
Soufre	0,6
Un peu de phosphore	
Oxygène	35,8
	100,0.

Schlossberger [4].

	Levûre supérieure		Levûre inférieure	
Carbone	50,05	49,84	48,03	47,93
Hydrogène	6,52	6,70	6,25	6,69
Azote	31,59	31,02	35,92	35,61
Oxygène	11,84	12,44	9,80	9,77
	100,00	100,00	100,00	100,00.

Dans les analyses de MM. Dumas et Schlossberger les cendres sont déduites. Le travail de M. Schlossberger sur la composition de la levûre est très soigné et forme un complément indispensable de l'analyse de M. Payen. Car, en profitant de l'action de la potasse pour

1. Payen. Mémoires sur les développements des végétaux. 3e mémoire : Cellulose. (Lu en 1839). *Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des sciences*. IX, 1846, p. 32.
2. Dumas. Traité de chimie appliquée aux arts. *Paris*, 1828-1846, 8 vol. in-8o. Tome VI, p. 316.
3. Mitscherlich. Éléments de chimie, traduits par B. Valérius. *Bruxelles*, 1835, 2 vol. in-8o. (*Notes de l'Édition.*)
4. Schlossberger (J.). [Ueber die Natur der Hefe, mit Rücksicht auf die Gährungserscheinungen]. *Annalen der Chemie u. Pharmacie*, LI, 1844, p. 193-212.

dissoudre les matières azotées de la levûre, il parvient à les séparer presque entièrement et à isoler ainsi la cellulose qu'il transforme par les acides en sucre fermentescible; puis, précipitant par les acides les matières enlevées par la potasse, il fait voir par l'analyse qu'elles se rapprochent beaucoup plus que la levûre de la composition moyenne des matières dites albuminoïdes; qu'elles sont plus riches que la levûre en carbone, en azote et en hydrogène. J'ai vérifié l'exactitude des résultats de M. Schlossberger.

M. Mitscherlich[1] a donné de très bonnes analyses des cendres de la levûre :

	LEVURE supérieure	LEVURE inférieure
Acide phosphorique	41,8	39,5
Potasse	39,8	28,3
Soude	»	»
Phosphate de magnésie ($2MgO, PhO^5$)	16,8	22,6
Phosphate de chaux ($2CaO, PhO^5$)	2,3	9,7
	100,7	100,1
Proportion pour 100 de cendres	7,65	7,51.

Il faut noter l'excellente méthode que M. Mitscherlich a mise en œuvre pour brûler la levûre. La matière était placée dans une nacelle d'argent, laquelle était introduite dans un tube de verre et chauffée dans un courant d'oxygène. Mais, comme au contact du verre l'argent s'oxyde, la nacelle d'argent reposait sur une autre nacelle de platine. Tant qu'il se dégage des produits de distillation, on fait passer du gaz acide carbonique, on termine par le courant d'oxygène.

Je vais maintenant présenter les résultats de mes propres recherches sur la nature de la levûre et les transformations qu'elle éprouve pendant la fermentation alcoolique.

§ II. — *L'azote de la levûre ne se transforme jamais en ammoniaque pendant la fermentation alcoolique. Loin qu'il se forme de l'ammoniaque, celle que l'on ajoute peut même disparaître.*

J'ai rappelé les observations de M. Thenard sur la levûre. Entre autres résultats, il reconnut : 1° qu'une partie de la levûre disparaissait pendant la fermentation, c'est-à-dire que M. Thenard a recueilli après la fermentation moins de levûre qu'il n'en avait employé. Ce fait est exact dans les conditions de son expérience, mais sa signification n'aura de valeur et ne sera comprise que par les explications dont je l'accompagnerai bientôt. 2° M. Thenard ne trouva pas d'azote dans la

1. MITSCHERLICH. [Asche der Hefe und des Biers]. *Ibid.*, LVI, 1845, p. 356.

levûre après la fermentation; ceci est une erreur grave, et on pourrait s'étonner à juste titre qu'elle eût échappé à un expérimentateur de l'habileté de M. Thenard. Mais il faut se rappeler l'état de la science à l'époque où M. Thenard publia ses recherches. Alors on constatait la présence ou l'absence de l'azote dans les matières organiques par la distillation de la substance, et on répondait affirmativement sur l'existence de cet élément quand la distillation avait fourni de l'ammoniaque. La levûre épuisée n'en donna pas. Le résidu du liquide fermenté évaporé n'en donna pas davantage, et M. Thenard, fort surpris de ces résultats, se demande où peut être l'azote de la levûre. Il le cherche dans l'acide carbonique dégagé; mais, comme l'avait déjà vu Lavoisier, ce gaz est complètement absorbable par la potasse. Il le cherche dans l'alcool sans plus de succès. Qu'est-il donc devenu? Et d'après un passage que j'ai rapporté précédemment, ces préoccupations de M. Thenard le poursuivent jusque dans les dernières éditions de son *Traité de chimie*.

L'explication me paraît assez simple. Nous verrons dans un paragraphe suivant, par l'examen détaillé de la levûre solide et de ses parties solubles après la fermentation, que les éléments du sucre se fixent en proportion notable sur la levûre et les principes solubles du résidu du liquide fermenté. D'autre part, nous savons que l'extrait du liquide fermenté renferme de la glycérine et de l'acide succinique. Il est très probable que dans les expériences de M. Thenard les acides formés par la glycérine et les autres matières provenant du sucre, pendant la distillation même, ont saturé l'ammoniaque et masqué sa présence.

M. Thenard fut bien près de sortir d'embarras. Car il ajoute une phrase qui trahissait ses doutes et indiquait la manière dont ils auraient pu être levés.

« J'ai fait cependant, ajoute-t-il, plusieurs autres expériences qui jusqu'ici tendent à prouver que l'azote peut exister dans une matière sans qu'on puisse le reconnaître en la distillant; que, par conséquent, il peut se faire que ce soit un principe constituant des végétaux, quoiqu'ils ne donnent pas en général d'ammoniaque par la distillation. Mais je n'ai point encore répété ces expériences, et l'on ne saurait mettre trop de réserve dans leur annonce (1). »

Dœbereiner (2) écarta, mais par des expériences inexactes, les diffi-

1. Thenard. Mémoire sur la fermentation vineuse. *Annales de chimie*, XLVI, an XI, p. 314.
2. Dœbereiner. Versuche über die Gährung. *Journal für Chemie u. Physik*, XX, 1817, p. 213-214. (*Notes de l'Édition*.)

cultés soulevées par le Mémoire de M. Thenard. Il annonça que sur un point ce chimiste s'était trompé et que le résidu soluble du liquide fermenté renfermait l'azote du ferment à l'état d'ammoniaque. A partir de cette indication, tous les ouvrages répétèrent à l'envi que l'azote de la levûre disparaissait peu à peu durant la fermentation, que la levûre, comme l'avait dit M. Thenard, devenait semblable au ligneux, et que la portion altérée et soluble renfermait tout l'azote à l'état de sel d'ammoniaque, d'où les alcalis pouvaient facilement la séparer.

Les résultats de Dœbereiner sont erronés. Le résidu soluble du liquide fermenté ne renferme pas la plus petite quantité d'ammoniaque provenant de l'azote de la levûre. L'azote qu'il renferme est entièrement sous la forme de matière albuminoïde très altérable par les alcalis, et dégageant même à froid de l'ammoniaque par la potasse, la chaux, la baryte. C'est là ce qui a trompé Dœbereiner.

Mes propres expériences sur l'azote du ferment n'ont acquis toute la précision désirable que lorsque j'eus connaissance des excellents procédés de dosage de l'ammoniaque exposés par M. Boussingault dans ses Mémoires et dans ses remarquables leçons du Conservatoire des Arts et Métiers où j'ai pu assister à tous les détails des opérations. L'indication la plus précieuse de M. Boussingault pour les recherches que j'avais entreprises est la suivante : la magnésie calcinée décompose à l'ébullition les sels d'ammoniaque, et ne dégage pas d'ammoniaque des matières organiques azotées les plus altérables par la chaux, la potasse ou la baryte. Dans les conditions de mes études ce résultat est d'une exactitude irréprochable.

Cela posé, voici quelques analyses des liquides de fermentation. Elles montrent clairement qu'il ne se forme pas la plus petite quantité d'ammoniaque pendant l'action de la levûre.

Le 18 janvier 1858, je mets à fermenter 100 grammes de sucre avec un litre d'eau tenant en dissolution les principes solubles de la levûre de bière et une quantité à peine sensible de globules de levûre frais. Un dosage fait à part sur une autre portion d'un litre de ce liquide apprend qu'il renferme 0 gr. 038 d'ammoniaque. Le 5 février, la fermentation est terminée. L'ammoniaque est dosée, en opérant sur tout le liquide; il ne reste plus que 0 gr. 020 d'ammoniaque, c'est-à-dire moins d'ammoniaque qu'à l'origine.

Le 30 avril, je mets également à fermenter 100 grammes de sucre, mais cette fois avec de la levûre ordinaire employée en très petite quantité, afin que la fermentation dure longtemps et de manière à me placer dans des conditions différentes de celles de l'expérience précédente. J'ajoute seulement 1 gr. 037 de levûre (poids de matière desse-

chée à 100°). Le 30 août, la fermentation est encore sensible. Un tube abducteur adapté au flacon de fermentation a toujours plongé dans l'eau. Le liquide fermenté n'est étudié que le 27 novembre. On trouve que tout le liquide ne renferme que 0 gr. 0008 d'ammoniaque, et il est très probable qu'il n'y en avait pas du tout, et que cette quantité si minime d'ammoniaque provient d'une erreur de dosage ou d'une faible réaction de la magnésie sur les matières albuminoïdes du liquide fermenté.

10 grammes de sucre ont été mis à fermenter avec
200 centimètres cubes d'eau de levûre limpide renfermant
0 gr. 0075 d'ammoniaque et une trace de levûre fraîche.

Six jours après on trouve, en opérant sur toute la liqueur, qu'elle renferme 0 gr. 0005 d'ammoniaque.

La constance des résultats de ces expériences et de beaucoup d'autres semblables ne laisse pas de doutes sur le fait principal. Il ne se forme pas la moindre quantité d'ammoniaque, dans la fermentation alcoolique, aux dépens de la levûre. Mais ces résultats vont plus loin : ils accusent une disparition d'une portion de l'ammoniaque existant dans la liqueur primitive. Cette dernière circonstance m'engagea à ajouter directement de l'ammoniaque, afin de mieux étudier le phénomène. Les expériences suivantes ont été faites dans cette direction :

100 grammes de sucre,
10 grammes de levûre lavée en pâte,
0 gr. 200 tartrate d'ammoniaque (gauche), renfermant
0 gr. 0185 d'ammoniaque.

La fermentation dure très longtemps. Lorsqu'il n'y a plus du tout de sucre à l'essai par la liqueur cuivrique, le liquide est étudié. Il ne renferme que 0 gr. 0015 d'ammoniaque.

J'ai retrouvé d'ailleurs l'acide tartrique gauche libre dans la liqueur avec tous ses caractères. Ainsi presque toute l'ammoniaque ajoutée à l'état de tartrate d'ammoniaque a disparu, et, en outre, celle qui existait dans les 10 grammes de levûre.

Dans l'expérience suivante, je me suis servi de tartrate droit d'ammoniaque :

19 gr. 575 sucre sont mis à fermenter avec
200 grammes eau,
0 gr. 523 levûre, contenant 0 gr. 179 de matière sèche.

J'ajoute d'autre part 0 gr. 475 tartrate droit d'ammoniaque représentant 0 gr. 088 d'ammoniaque.

Un mois après, la fermentation est terminée. Il reste 0 gr. 071 d'ammoniaque ; 0 gr. 017 ont donc disparu, c'est-à-dire le cinquième de la quantité totale employée.

En résumé, nous voyons que, bien loin qu'il se forme de l'ammoniaque dans la fermentation alcoolique, celle que l'on ajoute peut disparaître, dans les cas surtout où il y a insuffisance de principes albuminoïdes solubles par l'emploi d'une petite quantité de levûre de bière.

Les études du paragraphe suivant vont nous apprendre que l'ammoniaque qui disparaît ainsi entre dans la constitution de la levûre à l'état de matières albuminoïdes.

§ III. — *Production de levûre dans un milieu formé de sucre, d'un sel d'ammoniaque et de phosphates.*

Des expériences inédites faites à l'origine de mes recherches sur les produits gazeux de la fermentation, dans des distilleries de grains et de betteraves, m'avaient prouvé que l'acide carbonique des cuves est à peu de chose près complètement absorbable par la potasse. Dans plusieurs essais où j'avais recueilli chaque fois de 60 à 70 litres de gaz en quelques heures à l'aide d'un appareil à potasse qui dissolvait le gaz au fur et à mesure de son dégagement, j'ai trouvé que le gaz carbonique de ces grandes fermentations industrielles, accomplies en présence des sels ammoniacaux naturellement contenus dans les liqueurs, renfermait un dix-millième environ de son volume d'azote [1].

1. La description de l'appareil qui m'a servi dans cette occasion pourra peut-être avoir quelque utilité.

B. Ballon rempli d'une solution très concentrée de potasse caustique et de la capacité de $\frac{1}{2}$ litre à 1 litre.

F. Flacon servant à recevoir la potasse de B pendant l'arrivée des bulles d'acide carbonique dont la dissolution n'est pas immédiate.

E. Entonnoir renversé dans la cuve de fermentation et qui conduit le gaz carbonique dans le vase B par le tube de caoutchouc *abc* et le tube de verre *def*.

R. Robinet de sûreté pour le maniement de l'appareil.

On adapte le caoutchouc au robinet lorsque la potasse remplit le tube *fed* et après que tout l'air a été chassé de l'entonnoir et du tube *abc*.

La quantité d'acide carbonique est déterminée très exactement par la différence de poids de tout l'appareil avant et après l'expérience.

Cet appareil ne peut guère être utilisé pour des fermentations en petit, parce que le dégagement et la pression du gaz sont trop faibles pour empêcher tout passage de la potasse de *d* vers *c* à travers le robinet.

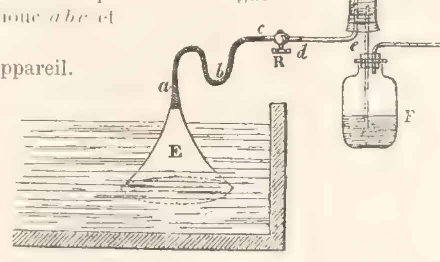


FIG. 2.

60 à 70 litres du gaz laissent un résidu de 7 à 8 centimètres cubes non absorbables par la potasse. Ces expériences mériteraient d'être reprises dans les conditions des expériences du paragraphe précédent. Je crus néanmoins pouvoir inférer de leurs résultats, sans autre vérification, que l'azote de l'ammoniaque qui disparaît dans la fermentation alcoolique ne se dégage pas à l'état gazeux.

Guidé par ces indications, je me demandai, quelque peu fondée que pouvait paraître cette présomption, si dans les conditions de la fermentation l'ammoniaque ne formerait pas de la matière albuminoïde par une sorte de copulation avec le sucre, de manière à entrer dans la composition de la levûre, ce qui expliquerait le fait de sa disparition en tant qu'ammoniaque.

C'est ainsi que je fus conduit aux résultats suivants, qui montreront toute la puissance d'organisation de la levûre et qui mettront fin, ce me semble, aux discussions sur sa nature :

Dans une solution de sucre candi pur, je place d'une part un sel d'ammoniaque, par exemple du tartrate d'ammoniaque, d'autre part la matière minérale qui entre dans la composition de la levûre de bière, puis une quantité pour ainsi dire impondérable de globules de levûre frais. Chose remarquable, les globules semés dans ces conditions se développent, se multiplient et le sucre fermente, tandis que la matière minérale se dissout peu à peu et que l'ammoniaque disparaît. En d'autres termes, l'ammoniaque se transforme dans la matière albuminoïde complexe qui entre dans la constitution de la levûre, en même temps que les phosphates donnent aux globules nouveaux leurs principes minéraux. Quant au carbone, il est évidemment fourni par le sucre.

Voici, par exemple, la composition d'une des liqueurs employées :

10 grammes sucre candi pur.
Cendres de 1 gramme de levûre obtenues au moufle d'un fourneau de coupelle.
0 gr. 100 tartrate droit d'ammoniaque.
Traces de levûre de bière fraîche, lavée, de la grosseur d'une tête d'épingle, à l'état frais, humide, perdant 80 pour 100 d'eau à 100°.

Dans un pareil mélange, le vase étant rempli jusque dans le goulot et bien bouché, ou muni d'un tube à gaz plongeant dans l'eau pure, la fermentation se déclare. Après vingt-quatre à trente-six heures, la liqueur commence à donner des signes sensibles de fermentation par un dégagement de bulles microscopiques, qui annoncent que le liquide est déjà saturé d'acide carbonique. Car je ne crois pas que la fermen-

tation se manifeste par un dégagement de gaz apparent avant que cette condition de saturation soit remplie.

Les jours suivants, le trouble de la liqueur augmente progressivement, ainsi que le dégagement de gaz qui devient assez sensible pour que la mousse remplisse le goulot du flacon. Un dépôt couvre peu à peu le fond du vase. Observée au microscope, une goutte de ce dépôt offre une belle levûre très ramifiée, extrêmement jeune d'aspect, c'est-à-dire que les globules sont gonflés, translucides, non granuleux, et l'on distingue parmi eux, avec une facilité surprenante, chaque globule de la petite quantité de levûre semée à l'origine. Ces globules sont à enveloppe épaisse, se détachant en cercle plus noir ; leur contenu est jaunâtre et tout granuleux ; mais la manière dont ils sont quelquefois entourés par les globules jeunes indique bien nettement qu'ils ont donné naissance à ceux de ces derniers qui forment les têtes des chapelets.

C'est dans les premiers jours qu'il faut faire ces observations intéressantes : le soir, à la lumière vive du gaz, les vieux globules se distinguent des jeunes infiniment plus nombreux, comme on distinguerait une bille noire au milieu de beaucoup de billes blanches.

Peu à peu les différences s'effacent et les globules nouveaux dissociés ont perdu toute apparence ramifiée; on ne voit plus de bourgeons. Les globules sont très granuleux à la manière de la levûre de bière adulte ou épuisée.

Il ne faudrait pas croire néanmoins que la fermentation devienne jamais aussi active que si, au lieu d'ammoniaque pour aliment azoté des globules semés, on se servait d'une matière albuminoïde appropriée, comme celle du raisin, du jus de betteraves, ou la partie soluble de la levûre de bière ordinaire. Sème-t-on dans de l'eau sucrée, mêlée d'un peu de ces matières albuminoïdes, des globules de levûre frais, les phénomènes généraux seront en tous points les mêmes que ceux que je viens de décrire, mais la fermentation sera très sensiblement plus active. Par exemple, au lieu de se déclarer après trente-six à quarante-huit heures, les premières petites bulles d'acide carbonique apparaissent déjà au bout de douze à vingt-quatre heures. En outre, la quantité de levûre formée et déposée dans le même temps est bien supérieure ; mais, je le répète, tout est pareil avec une énergie plus grande, et les produits formés sont rigoureusement les mêmes.

Rien n'est curieux comme cette influence de la nature azotée et minérale du milieu sur l'activité de la fermentation. J'ai fait à cet égard des expériences multipliées dont je rapporterai quelques résultats. L'un des plus intéressants est relatif à l'emploi de l'albu-

mine du blanc d'œuf. J'ai été fort surpris de trouver cette matière tout à fait impropre à nourrir les globules de levûre de bière. Que l'on dissolve du sucre dans de l'albumine d'œufs frais délayée dans l'eau et filtrée, rendue ou non très peu acide, que l'on ajoute une très petite quantité de levûre de bière, les globules semés ne se développeront pas du tout; il n'y aura pas trace de fermentation (1).

On sait pourtant par les expériences de M. Colin et de M. Thenard qu'une décoction d'albumine sucrée et abandonnée à elle-même fermente et qu'il s'y forme, d'après M. Turpin, de la levûre alcoolique ordinaire; mais, comme l'ont bien remarqué MM. Thenard et Colin, cet effet ne se produit qu'au bout de trois semaines ou un mois à une température de 30 à 35°, et à partir de ce moment la fermentation est toujours fort lente. Or, en étudiant la liqueur pendant l'intervalle de temps qui précède la fermentation alcoolique, il est facile de reconnaître qu'il s'y forme des productions diverses, infusoires ou mucédinées, et je ne doute pas que l'albumine, modifiée quelque peu dans sa nature par ces matières, ne devienne peu à peu apte à nourrir de la levûre de bière.

Les choses se passent bien différemment avec le sérum du sang ou les liquides exprimés des muscles. Le sérum limpide, incolore, étant additionné de sucre et de quelques globules de levûre, permet à ceux-ci de se développer avec une merveilleuse facilité, et le sucre fermente presque aussi facilement que si l'on se servait d'un jus sucré naturel ou d'eau de levûre limpide. Ce n'est pas, je pense, que l'albumine du sérum ait une nature différente de celle du blanc d'œuf; je crois que cela tient à d'autres matières albuminoïdes qui accompagnent l'albumine dans le sang et qui sont par leur nature individuelle propres à la nourriture des globules de levûre. Voici ce qui m'engage à adopter cette opinion.

J'ai fait coaguler du sérum incolore, puis je l'ai mis à bouillir avec de l'eau, et après filtration, à limpidité parfaite, pour séparer l'albumine coagulée, j'ai dissous du sucre dans le liquide filtré et ajouté quelques globules frais. Ceux-ci se sont multipliés et il y a eu fermentation alcoolique très bien caractérisée.

J'ai fait la même expérience avec de l'eau bouillie sur du blanc d'œuf et je n'ai pas obtenu du tout de fermentation.

Ces expériences ont été répétées maintes fois et ont donné toujours les mêmes résultats.

Quoi qu'il en soit, n'est-il pas bien remarquable de voir un sel

1. *Voir* des expériences analogues de M. BOUCHARDAT [Mémoire sur les ferments alcooliques. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XVIII, 1844, p. 1120].

d'ammoniaque capable de servir à la nourriture des globules de levûre, leur fournir leurs principes albuminoïdes, et l'albumine pure du blanc d'œuf y être entièrement impropre? On comprend ainsi que la distance peut être grande entre les diverses espèces de ce groupe générique désigné par l'expression de matières albuminoïdes ou protéiques. J'ai remarqué également que certaines matières protéiques sont bien plus que d'autres favorables au développement de la levûre lactique : par exemple, les parties solubles du gluten, de la caséine, le résidu azoté des liquides qui ont subi la fermentation alcoolique. . . . . Lors même que l'on sème des globules de levûre de bière dans les solutions aqueuses de ces produits, où l'on a préalablement fait dissoudre du sucre, il n'est pas rare de voir la fermentation alcoolique s'accompagner de fermentation lactique, c'est-à-dire qu'il se développe spontanément (par l'effet du contact de l'air à l'origine) de la levûre lactique qui agit pour son propre compte sur le sucre, parallèlement à la levûre alcoolique.

L'influence du milieu, de l'appropriation de la matière azotée et des matières minérales à la vie de la levûre se manifeste encore d'une autre manière qui n'est pas moins démonstrative ; je veux parler de la fermentation spontanée des liquides sucrés sans addition préalable d'une levûre déterminée.

Tout le monde sait que le jus de raisin abandonné à lui-même éprouve après quelques heures la fermentation alcoolique, et il est excessivement rare qu'elle soit compliquée d'une autre fermentation, par exemple, de la fermentation lactique. La même chose arrive au jus de betteraves, s'il a été rendu acide, suivant la pratique de M. Dubrunfaut, à la manière des jus des fruits acides. Mais ici déjà on rencontrerait assez fréquemment, j'en ai beaucoup de preuves, la production de fermentations parallèles et simultanées avec leurs levûres spéciales.

Se sert-on d'eau de levûre, c'est-à-dire de la partie soluble de la levûre de bière filtrée à limpidité parfaite, puis additionnée de sucre et abandonnée à elle-même, il y aura presque toujours fermentation alcoolique, c'est-à-dire formation spontanée de levûre de bière, s'il y a eu contact de l'air à l'origine. Très rarement, quoique j'en aie vu plusieurs exemples dans le cours de mes recherches, il ne se produira que des levûres lactique, butyrique,... ; mais ce qui est fréquent dans ces conditions, c'est la formation simultanée de la levûre alcoolique et de la levûre lactique, et l'on peut même en quelque sorte faire prédominer telle ou telle de ces levûres, selon qu'on emploie de l'eau de levûre fraîche ou de l'eau de levûre altérée. L'eau de la levûre altérée,

quoique parfaitement limpide et obtenue après ébullition, sera bien plus propre à la formation de la levûre lactique.

Ces résultats seraient bien plus saillants encore si l'on faisait intervenir des changements dans les conditions, soit primordiales, soit permanentes, de neutralité ou d'alcalinité des milieux.

On aurait pu croire que dans ces phénomènes la nature de la matière albuminoïde, indépendamment de son association ou de sa combinaison avec les substances minérales, jouait le principal rôle. Mais voici des faits qui montrent clairement que la présence et la qualité des éléments minéraux ne sont pas moins essentielles que celles qui concernent les éléments organiques. Vient-on, en effet, à supprimer la matière minérale dans la composition du milieu formé d'eau sucrée, d'un sel d'ammoniaque et de cendres de levûre, les globules semés ne se multiplient pas du tout, et il ne se manifeste aucun mouvement de fermentation. Bien plus, si l'on modifie la nature des principes minéraux, que l'on enlève, par exemple, les phosphates alcalins, la marche de la fermentation est très sensiblement modifiée et ralentie.

Le phosphate de magnésie employé seul ne donne pas les mêmes résultats que les cendres de levûre brute. Des changements se manifestent lorsqu'on se sert de cendres de levûre fondues au rouge blanc (ce qui a chassé en partie les alcalis) ou simplement frittées par une chaleur modérée. C'est dans ces dernières conditions que la marche de la fermentation est la plus rapide et la plus régulière.

On peut s'assurer par des essais du même genre que le sel d'ammoniaque est indispensable. Les globules de levûre semés dans de l'eau sucrée mêlée de cendres de levûre ne donnent lieu à aucune fermentation sensible. Elle n'est pas cependant tout à fait nulle ; elle donne quelquefois une fraction de centimètre cube de gaz, ce qui doit tenir à l'ammoniaque de l'eau distillée ou à la proportion infiniment petite de matière albuminoïde qu'apporte la semence.

L'intervention nécessaire du sucre, qui seul peut fournir le carbone des globules de levûre, est assez prouvée dans ces expériences pour que je ne m'y arrête pas. Ainsi tout concourt à l'accomplissement du phénomène de la fermentation : le sucre, la matière azotée, la matière minérale.

L'influence de la semence n'est pas moins certaine. C'est à tel point que, si elle est supprimée, il y a fermentation également, mais jamais je n'ai vu un seul globule de levûre de bière prendre naissance, et seulement des infusoires, les plus petits de tous, et de la levûre lactique avec la fermentation qui est corrélative de son développement.

D'où vient cette absence complète de levûre de bière dans ces dernières dispositions des expériences ? Tous les faits que j'ai rapportés précédemment le disent assez. C'est que le milieu ne convient pas suffisamment à la propagation de cette levûre. Il n'y a aucune impossibilité matérielle à ce que la levûre de bière se forme, bien qu'on n'en sème pas. Elle apparaît en effet spontanément par le contact de l'air dans le moût de raisin, dans le jus de betteraves, etc. ; mais le milieu formé de sucre, de phosphates et de sel d'ammoniaque lui convient assez peu, pour que sa production spontanée soit impossible, bien que ce même milieu puisse entretenir la vie et le développement de la levûre adulte que l'on y sème. Plus approprié, au contraire, paraît-il, à la levûre lactique et aux infusoires, ce milieu particulier et presque tout minéral permet la formation de ces dernières productions, si la liqueur a eu le contact de l'air commun.

Fait-on bouillir quelques minutes le mélange et y laisse-t-on rentrer de l'air calciné, il ne surgit aucun organisme, aucun mouvement de fermentation d'aucun genre.

Tous ces faits, qui éclairent, ce me semble, d'un jour nouveau les phénomènes des fermentations serviront à comprendre une particularité fort ordinaire dans les fermentations qui s'effectuent au sein d'un milieu formé d'eau sucrée, de sel d'ammoniaque, de phosphates et de semences de levûre de bière : c'est la naissance fortuite de la levûre lactique et d'infusoires. Ces derniers disparaissent promptement, on ne les voit que dans les premiers jours ; mais la levûre lactique persiste et se multiplie, et souvent même elle finit par agir à peu près seule, parce que l'acidité croissante qu'elle apporte dans la liqueur nuit beaucoup à la levûre de bière. Le fait du mélange des deux levûres, bien qu'on n'ait semé que de la levûre de bière, tient à la nature du milieu, plus propre au développement de la levûre lactique qu'à celui de la levûre alcoolique, puisque, dans le cas de fermentation spontanée, la levûre alcoolique n'y apparaît jamais.

Cela posé, je vais donner l'analyse détaillée d'une fermentation accomplie dans un milieu composé d'eau, de sucre candi pur, de tartrate d'ammoniaque et de cendres de levûre, blanches, fondues et pulvérisées.

Le 10 décembre 1858, à midi, on place à l'étuve :

10 grammes de sucre,
100 centimètres cubes d'eau,
0 gr. 100 de tartrate droit d'ammoniaque,
Cendres de 1 gramme de levûre,
Traces de levûre fraîche de la grosseur d'une tête d'épingle.

Le 11, à 4 heures du soir, en observant attentivement sur le fond du vase la place où est tombé le petit fragment de levûre ajoutée, on voit s'élever continuellement des bulles gazeuses d'une ténuité extrême. Le phénomène est continu en cet endroit. Ailleurs, sur le fond du flacon, de temps à autre seulement une bulle de gaz s'élève très petite et très rare. En outre, dans la masse du liquide, quelques petits flocons nagent suspendus à diverses hauteurs par de très petites bulles de gaz adhérentes.

A 7 heures du soir, le même jour, fermentation bien plus sensible, quoique toujours des plus faibles. Déjà un peu de mousse dans le goulot au niveau du liquide. Des bulles partent des divers points du fond du vase. Le 12, fermentation très sensible ; beaucoup de mousse et déjà un dépôt sensible sur le fond ; liquide troublé par la levûre en suspension qui est très belle et offre les caractères que j'ai déjà décrits.

Le 13, le 14, le 15, fermentation active, mais les jours suivants elle se ralentit peu à peu, bien qu'elle soit toujours continue.

En examinant le liquide de temps à autre, en janvier, il est visible que de la levûre lactique a pris naissance et qu'elle va en augmentant ainsi que l'acidité de la liqueur.

Voyant que la fermentation lactique nuit à la fermentation alcoolique, je mets fin à l'expérience et j'étudie la liqueur. Une portion a fourni une quantité très sensible d'alcool qui n'a pas été dosée.

L'analyse, par la liqueur de cuivre, de la quantité de sucre restant, a montré que 4 gr. 5 de sucre avaient fermenté, c'est-à-dire qu'il en restait 5 gr. 5.

En saturant 10 centimètres cubes par l'eau de chaux titrée, on a trouvé qu'il s'était formé une quantité d'acide équivalente à 0,597 d'acide sulfurique, ce qui fait à peu près 1 gramme d'acides organiques ; quantité considérable, qui montre bien que la fermentation alcoolique avait dévié de sa direction première.

J'ai déterminé la quantité d'ammoniaque en opérant sur 50 centimètres cubes du liquide fermenté. J'ai trouvé de cette manière qu'il avait disparu 0 gr. 0062 d'ammoniaque. La levûre recueillie tout d'abord sur un filtre taré et desséché à 100° pesait 0 gr. 043. Je me suis assuré que toute la cendre de levûre employée avait été dissoute pendant l'opération. Le poids 0,043 est donc le poids réel de levûre formée prise à l'état sec.

Afin de reconnaître la nature de l'acide, une portion du liquide fermenté est évaporée, reprise par de l'éther à plusieurs fois, évaporée de nouveau, saturée par l'eau de chaux, évaporée encore et traitée par

l'alcool, qui a donné un précipité très faible, cristallin, mais non douteux, de succinate de chaux dont j'ai retiré de l'acide succinique cristallisé, si facile à reconnaitre, même en opérant sur une quantité très minime de ce produit.

Le liquide alcoolique a donné une cristallisation abondante de lactate de chaux mélangé d'une petite quantité du sel de chaux auquel j'ai déjà fait allusion précédemment ; il n'était pas douteux, par le volume de la cristallisation du lactate de chaux, que la plus grande partie de l'acide de la liqueur était de l'acide lactique.

J'ai transformé une portion de ce sel en lactate de zinc facile à caractériser par sa forme cristalline.

Enfin, dans le résidu traité par l'éther et laissé insoluble par ce liquide, j'ai très nettement distingué au microscope un précipité cristallin ayant exactement la forme de la mannite et une saveur sucrée, ce qui éloignait le doute pouvant provenir de la présence de l'acide tartrique dans le résidu. Quant à la glycérine, elle a été mise en évidence dans ce résidu après un traitement par le mélange d'alcool et d'éther.

Tous ces résultats, de la plus rigoureuse exactitude, bien que la plupart aient été obtenus en agissant sur des poids de matière très faibles, établissent la production des levûres alcoolique et lactique et des fermentations particulières qui leur correspondent dans un milieu formé uniquement de sucre, d'un sel d'ammoniaque et d'éléments minéraux.

Dans ce Mémoire, je n'ai voulu mettre en évidence que ce résultat.

Je publierai ultérieurement un travail spécial sur la fermentation alcoolique accomplie dans ces conditions, et j'étudierai alors particulièrement la nature des matières albuminoïdes de la levûre formées à l'aide du sucre et de l'ammoniaque [1].

1. M. Dumas, lorsque j'eus l'honneur de lui communiquer de vive voix la première annonce des faits dont il a été question dans ce chapitre, fut très frappé du rôle individuellement nécessaire des sels d'ammoniaque, des phosphates et des matières hydrocarbonées pour la vie et la multiplication des globules de levûre. Et rapprochant de la levûre les plus jeunes tissus des végétaux : « Je comprends, me dit-il, qu'il y ait toujours réunis, dans les sèves des végétaux, du sucre, des sels d'ammoniaque et des phosphates. Ce doit être à leur aide que se forme la cellule. » J'ai eu l'occasion de relire dans le cours de mes recherches les remarquables travaux de M. Payen (*Loc. cit.*) sur la composition des végétaux, et je dois avouer que les nombreux rapports que l'on peut établir entre la levûre et les cellules des jeunes organes des plantes se présentaient à chaque instant à mon esprit.

Le lecteur fera bien de rapprocher aussi des recherches qui précèdent les travaux de M. Mirbel sur le cambium et les écrits plus récents sur le rôle des phosphates dans la vie des plantes.

§ IV. — *Étude des rapports de la levûre et du sucre. Ce que devient l'azote de la levûre pendant la fermentation alcoolique.*

Nous voici arrivés à un point très délicat de ces recherches, je veux parler des rapports qui s'établissent entre le sucre et la levûre.

Il ne sera guère question ici que des rapports matériels, mais ce sont ceux-là qu'il faut évidemment consulter avant d'aborder les rapports plus intimes, les rapports physiologiques.

Je donnerai en premier lieu quelques détails sur la structure des globules de levûre de bière.

Les globules de levûre sont formés, à n'en pas douter, de petites vésicules à parois élastiques, pleines d'un liquide qui est associé à une matière molle plus ou moins granuleuse et vacuolaire logée de préférence immédiatement au-dessous de la paroi; mais elle gagne peu à peu le centre à mesure que le globule vieillit.

La paroi de la cellule est élastique. En effet, quand une goutte d'eau remplie de jeunes globules de levûre se dessèche sur une lame de verre posée sur le porte-objet du microscope, le retrait de la goutte qui se divise par l'introduction de l'air amène des pressions des globules les uns contre les autres, et on les voit alors se déformer et devenir plus ou moins polyédriques.

Le contenu des globules, surtout le contenu central, est liquide : cela est prouvé par la présence dans la plupart des globules adultes d'une ou de plusieurs granulations intérieures, agitées du fourmillement propre au mouvement brownien. Il serait assez difficile de dire si c'est un mouvement brownien réel. La cause de ce mouvement, probablement toute physique, est trop peu connue encore pour que l'on sache si elle peut agir ou non à travers l'enveloppe des globules sur les granulations les plus libres du centre de ces globules. Quoi qu'il en soit, le fait que je signale ne permet pas de douter de l'état plus ou moins liquide de l'intérieur des globules.

Le bourgeonnement des globules, qui constitue l'importante découverte de M. Cagniard de Latour, se fait, d'après M. Mitscherlich, comme le représente le passage de la figure 3 à la figure 4, c'est-à-dire que le nouveau globule débute par une simple proéminence. Mes propres observations m'ont convaincu de l'exactitude de cette opinion de M. Mitscherlich. J'ai vu cela maintes fois de la façon la plus nette. Bientôt le petit bourgeon, tout en restant attaché, soudé au gros, paraît avoir son enveloppe propre et constituer à lui seul un globule réel. Les mouvements du liquide ne peuvent le détacher que quand il

a pris à peu près le volume du globule-mère. Jusque-là sa soudure est assez intime et résistante.

Le bourgeon est-il né, comme quelques personnes le prétendent, par l'effet du contact, de la pression contre la paroi interne d'une des granulations du globule ? Je n'ai rien vu qui autorise cette opinion, et je la crois inexacte.

D'une part, les globules translucides, sans granulations apparentes, sont de tous les globules les plus propres au bourgeonnement ; d'autre part, le développement des granulations paraît lié à l'âge plus

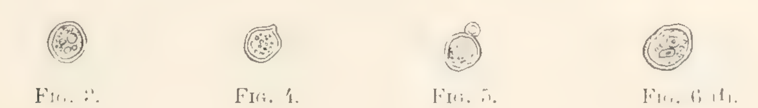


FIG. 3. FIG. 4. FIG. 5. FIG. 6 (1).

ou moins avancé des globules, et il y en a d'autant plus que le globule est plus vieux, moins actif, moins capable de bourgeonner.

Je ne crois pas davantage à un fait admis par M. Mitscherlich, et déjà avancé par MM. Cagniard de Latour et Turpin, à savoir que les globules de levûre crèvent souvent et épanchent leur contenu granuliforme qui répand dans le liquide des séminules, lesquelles grossissent et deviennent des globules de levûre ordinaire.

Je puis affirmer que jamais dans le cours de trois années des observations les plus assidues et les plus multipliées sur la levûre de bière, dans les conditions les plus extrêmes de son développement, je n'ai une seule fois rencontré ce fait. Il y a une circonstance bien décisive contre lui, c'est le volume uniforme des globules d'une levûre en voie d'action sur le sucre. Ceux qui sont de taille inférieure à la moyenne ne sont pas libres, mais fixés à des globules plus gros sous forme de bourgeons. Or il est clair que, si la levûre se reproduisait par les granulations épanchées des gros globules, on aurait toutes les tailles des globules parmi ceux qui sont libres.

Les auteurs allemands, M. Mitscherlich entre autres, distinguent deux espèces de levûre. Ils appellent l'une levûre *supérieure*, l'autre levûre *inférieure*, cette dernière, servant à la fabrication de la bière de Bavière, se produisant et agissant à une plus basse température

1. La figure 6 représente un globule de levûre dans lequel les granulations intérieures se sont amassées vers la paroi centrale de l'enveloppe de manière à laisser en quelque sorte deux cavités libres. On a figuré dans chacune de ces cavités une petite granulation isolée. Quand les choses se présentent ainsi, et cela est très fréquent, les petites granulations libres sont agitées vivement d'un mouvement de fourmillement pareil au mouvement brownien. Il n'y a souvent qu'une cavité. C'est ce mouvement de la granulation qui me paraît prouver que la cavité est pleine d'un liquide assez fluide.

que l'autre. La levûre supérieure serait plus active. Les chimistes allemands disent que cette seconde espèce de levûre bourgeonne, et que c'est ainsi qu'elle se reproduit; mais la levûre inférieure se développerait, suivant eux, par les granulations épanchées des globules arrivés à maturité (1).

Je n'oserais aller trop loin dans mon opinion sur des faits que je n'ai peut-être pas été à même de rencontrer dans mes recherches, avec les caractères particuliers sous lesquels on a pu les étudier en Allemagne. Cependant je ne puis m'empêcher d'émettre des doutes sur l'existence de ces deux espèces de levûre de bière.

La levûre est quelquefois plus légère, quelquefois plus lourde. Elle est plus légère quand elle est jeune. La vieille est plus lourde et plus portée à se tasser. Elle ne contient presque pas de liquide à l'intérieur de ses globules tout remplis de granulations. La différence m'a paru toujours très marquée entre la densité de la levûre jeune et [celle] de la levûre vieille plus ou moins épuisée, et nul doute que par le mouvement gazeux des cuves il n'y ait, à la surface de la levûre jeune, active, propre au bourgeonnement, et au fond de la levûre vieille, de plus lente action sur le sucre; mais ce sont là deux levûres identiques, à deux époques différentes de leur vie et de leur action.

Toutes les études que j'ai faites m'obligent à rejeter l'opinion de l'existence de deux levûres ayant des modes de reproduction différents, et j'ai la confiance qu'en reprenant l'examen attentif des levûres supérieure et inférieure, on arrivera à partager mon sentiment.

Je ne nie d'ailleurs aucun des effets propres attribués aux levûres supérieure et inférieure. Mes recherches servent plutôt à les expliquer (2).

Suivons maintenant la levûre depuis le moment où elle est mise en présence du sucre.

Placée dans l'eau pure ou dans l'eau sucrée, la levûre cède une partie de ses principes liquides ou solubles qui se répandent dans la liqueur. Il est bien facile de s'en convaincre. Si la levûre est délayée avec de l'eau froide ou chaude, que l'on filtre, il y aura des matières

1. MITSCHERLICH. Sur la fermentation [*Journal de pharmacie*, IV, 1843, p. 216-221, et *Annalen der Physik u. Chemie*, LIX, 1843, p. 94-101.]

2. J'ai déjà fait remarquer qu'il résultait de mes analyses des fermentations alcooliques que la levûre de bière âgée, granuleuse, qui a perdu de son activité par un commencement d'épuisement, soit en dédoublant du sucre, soit en transformant ses propres tissus comme je l'expliquerai plus loin, fournit plus de glycérine et d'acide succinique et moins d'alcool que la levûre jeune, turgide, translucide, peu granuleuse. On comprend facilement qu'à ses divers âges, la levûre ait des manières de vivre un peu différentes, indépendamment des modifications que la nature du milieu et les conditions extérieures peuvent provoquer.

albuminoïdes et minérales dans la liqueur filtrée. Or nous savons que, prises à part, ces matières mêlées avec du sucre et à une trace de levûre fraîche font développer et multiplier celle-ci, et que le sucre fermente. Le même effet se produira évidemment avec plus d'intensité et d'énergie quand on laissera dans la liqueur toute la levûre.

L'expérience de production de la levûre et de fermentation du sucre dans un milieu formé de sucre, de sel d'ammoniaque, de phosphates nous a montré clairement que la levûre vivait et faisait fermenter le sucre dès qu'elle était en présence :

1° Du sucre,

2° D'une matière azotée,

3° De matières minérales phosphatées.

Or la levûre porte en elle-même ces principes azotés et minéraux immédiatement solubles, au moins partiellement, de telle sorte qu'au moment où elle est ajoutée à de l'eau sucrée, elle a exactement tout ce qu'il lui faut pour vivre.

Jamais le sucre n'éprouve la fermentation alcoolique sans que des globules de levûre soient présents et vivants; et réciproquement il ne se forme de globules de levûre de bière sans qu'il y ait présence de sucre ou d'une matière hydrocarbonée et sans qu'il y ait fermentation de ces matières. Ce que l'on a écrit de contraire à ces principes repose sur des expériences inexactes ou incomplètes.

Tous les ouvrages de chimie présentent la fermentation alcoolique comme pouvant s'accomplir dans deux circonstances très distinctes, suivant que la levûre est ajoutée à de l'eau sucrée pure ou à de l'eau sucrée mélangée de matières albuminoïdes : dans le premier cas, dit-on, le ferment agit, mais ne se reproduit pas ; dans le second il agit, mais se reproduit : c'est le cas de la fabrication de la bière.

« Si la fermentation, dit M. Liebig, était une conséquence du développement et de la multiplication des globules, ils n'exciteraient pas la fermentation dans l'eau sucrée pure, qui manque des conditions essentielles à la manifestation de l'activité vitale. Cette eau ne renferme pas la matière azotée nécessaire à la production de la partie azotée des globules. Dans ce cas, ajoute-t-il, les globules déterminent la fermentation, non parce qu'ils continuent de se développer, mais par suite de métamorphoses de leur partie interne azotée qui se décompose en ammoniaque et en d'autres produits, c'est-à-dire par suite d'une décomposition chimique qui est tout l'opposé d'un acte organique [1]. »

1. Liebig. Nouvelles lettres sur la chimie. *Paris*, 1852, in-16, 28e lettre, p. 31-32. (*Note de l'Édition.*)

Les faits que j'ai rapportés tout à l'heure sont en opposition évidente avec cette manière de voir, et j'ai la certitude que les phénomènes sont à peu de chose près les mêmes, que la levûre soit employée dans l'eau sucrée pure ou dans l'eau sucrée mêlée de matières albuminoïdes. Dans les deux cas la levûre s'organise et se multiplie : seulement dans le premier, lorsque la fermentation est terminée, tous les globules, jeunes et vieux, sont privés de matière azotée soluble. Ce qu'il y avait d'aliment azoté sous cette forme s'est fixé à l'état insoluble sur les globules de formation nouvelle. L'ensemble de ces globules n'a donc pas d'action possible sur de l'eau sucrée pure. Il n'y a plus d'aliment azoté pour les globules qui seraient assez jeunes pour agir et se multiplier encore. Au contraire, dans le cas de la fermentation en présence d'une matière albuminoïde, il y a bien des globules qui s'épuisent, mais la plupart des nouveaux sortent du liquide remplis de matières azotées et minérales et tous propres à vivre à l'aide de ces aliments dans de nouvelle eau sucrée.

D'autres observations, dont on a exagéré l'importance sans en vérifier l'exactitude, ont contribué à jeter dans ces études une grande obscurité. On trouve dans le Mémoire de M. Thenard que 20 parties de levûre de bière et 100 de sucre ont laissé, après avoir complètement fermenté, 13,7 parties d'un résidu insoluble qui, mis en contact d'une nouvelle quantité de sucre, s'est réduit à 10 parties [1]. Nous verrons tout à l'heure combien cette observation est incomplete et erronée, prise dans ces termes exclusifs.

Quoi qu'il en soit, tout le monde pensait que, dans la fermentation avec levûre et eau sucrée, une partie de la levûre se détruit, et l'on ajoutait : Combien n'est-ce pas différent de ce qui se passe lorsque la levûre est placée dans de l'eau sucrée mêlée de matières azotées? Par exemple, dans la fabrication de la bière « le ferment, loin de se détruire, se développe par bourgeonnement et augmente considérablement en proportion. C'est que les matières albuminoïdes de la liqueur sont propres à la nutrition des globules et le brasseur retrouve six à sept fois plus de levûre qu'il n'en a mis ».

Tout cela a été bien mal interprété. Pour ce qui est de la quantité de levûre que le brasseur retrouve à la fin de l'opération, on aurait pu dire tout aussi bien qu'il en recueille un nombre quelconque de fois plus qu'il n'en a employé; car si le brasseur n'ajoutait que quelques globules de levûre, il y aurait fermentation, dépôt de levûre

1. Cette dernière phrase se trouve dans Liebig : Sur les phénomènes de la fermentation et de la putréfaction, et sur les causes qui les provoquent. *Annales de physique et de chimie*, 2e série, LXXI, 1839, p. 178. (*Note de l'Édition.*)

	I POIDS de sucre candi bien cristallisé et pur	II POIDS de levure lavée à l'état frais en pâte plus ou moins molle.	III POIDS de la levure desséchée à 100°.	IV POIDS de la levure déposée après la fermentation desséchée à 100°.	V POIDS de l'extrait, partie soluble de la levure restant dans le liquide fermenté et insoluble dans le mélange d'alcool et d'éther.	VI SOMME des poids de la levure déposée après la fermentation et de la partie soluble extractive restant dans la liqueur fermentée	EXCÈS de cette somme sur le poids de levure mise en fermentation.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
A . .	100	20,000	4,626	3,230	2,320	5,550	0,934
B .	50	10,000	2,213	2,001	0,819	2,820	0,407
C .	100	16,000	4,604	4,385	Non déterminé	»	»
D . .	100	10,000	2,313	2,486	1,080	3,566	1,253
E .	100	13,700	2,626	2,965	0,964	3,929	1,303
F . .	100	6,254	1,198	1,700	0,631	2,331	1,133
G . .	16	3,159	0,699	0,712	Non déterminé.	»	»
H . .	4	1,474	0,326	0,335	Id.	»	»
I .	20	1,878	0,476	0,590	0,133 (*)	0,723	0,247

* On remarquera que la colonne V ne comprend pas le poids de matière extractive fixée sur le succinate de chaux. Voir 1re partie, §§ II et III. Les nombres de la colonne V sont donc un peu faibles, de 1 à 2 ou 3 décigrammes en général pour 100 de sucre. Cela varie avec les proportions de levure employée.

aussi bien que dans le cas où il en met une assez forte proportion. Seulement la fermentation serait plus lente et pourrait devenir lactique, ce qui a conduit à la pratique de l'addition de $\frac{1}{6}$ ou $\frac{1}{7}$ de la levûre qui peut se former.

Mais examinons les choses de plus près, et nous arrriverons à nous convaincre que dans la fermentation des sucres en présence des matières albuminoïdes *il ne se fait pas plus et même moins de levûre* que dans le cas où l'on effectue la fermentation avec de l'eau sucrée pure.

Je citerai d'abord quelques observations sur des fermentations avec levûre et eau sucrée pure, dans lesquelles on a pesé la levûre employée, la levûre recueillie et la partie soluble de la levûre restant après l'opération. Je rapporterai ensuite des résultats relatifs aux fermentations en présence de matières albuminoïdes.

Il résulte des nombres de ce tableau [page 107] que dans le cas où l'on emploie une quantité de levûre en pâte s'élevant, par exemple, de 15 à 20 pour 100 du poids du sucre, on recueille après la fermentation moins de levûre qu'on en avait mis : A, B, C. Or c'est précisément dans ces conditions que M. Thenard s'était placé ; il avait employé 20 parties de levûre en pâte pour 100 de sucre. Ce sont aussi les proportions qu'il recommande dans son *Traité de Chimie* (1).

Mais lorsqu'on descend à un poids de levûre en pâte qui n'est plus que 10 pour 100 et au-dessous du poids du sucre, alors on recueille plus de levûre qu'on n'en a employé : D, E, F, G, H, I.

Et, *dans tous les cas*, si l'on a soin de déterminer le poids de matière extractive azotée, provenant de la levûre, qui est en dissolution dans la liqueur fermentée, on trouve qu'ajouté au poids de levûre après la fermentation il dépasse très sensiblement le poids total de levûre primitif. L'augmentation s'élève environ de 1,2 ou 1,5 pour 100 du poids du sucre.

La disparition de la levûre dans l'expérience de M. Thenard n'est donc qu'apparente. On a recueilli moins de levûre, parce qu'on en avait employé beaucoup pour la fermentation, et que ce qui s'en était dissous avait été supérieur au poids des nouveaux globules formés (2).

1. M. Regnault, sans insister autrement, s'exprime ainsi dans son *Traité de Chimie*, tome IV, p. 185, 4e édition : « On a reconnu que la levûre augmente d'environ le quart de son poids. » J'ignore à quelle source M. Regnault a puisé cette indication, contraire à l'assertion de M. Thenard, mais vraie d'une manière générale, dans certaines circonstances, comme l'est dans d'autres le résultat de M. Thenard.

2. Sur un exemplaire de son Mémoire, Pasteur a souligné « au poids des nouveaux globules formés » et a noté en marge au crayon ces mots : « ou mieux *au poids des globules*, car même sans formation nouvelle de globules les anciens peuvent augmenter de poids. » (*Note de l'Édition.*)

De là, et ne tenant aucun compte de la matière dissoute, il y a eu une diminution apparente dans le poids de la levûre.

Les principes que la levûre cède à la liqueur dépendent et de sa solubilité naturelle et de la solubilité des matériaux qu'isole en elle le travail de la fermentation [1].

Voyons maintenant ce qui se passe lorsqu'il y a présence et excès de matières albuminoïdes étrangères.

Je fais dissoudre 9 gr. 899 de sucre candi pur, et j'ajoute à la liqueur 20 centimètres cubes d'un liquide limpide préparé en faisant bouillir de la levûre de bière fraîche avec de l'eau distillée et filtrant la liqueur. Ces 20 centimètres cubes de liquide renfermaient 0 gr. 334 de matière albuminoïde et minérale très propre à la vie des globules de levûre. Puis je dépose, après avoir porté le volume à 100 centimètres cubes, une trace de levûre fraîche qui se multiplie et provoque la fermentation totale du sucre, laquelle a été complète onze jours après.

Je recueille alors toute la levûre formée. Elle pèse sèche 0 gr. 152.

Le liquide fermenté, évaporé, traité par le mélange d'alcool et d'éther pour enlever la glycérine et l'acide succinique, laisse un résidu insoluble, azoté, capable de servir à de nouvelles fermentations. Il pèse 0 gr. 260.

Ainsi on a employé 0 gr. 334 de substances albuminoïdes et minérales, et on a recueilli 0 gr. 152 de levûre + 0 gr. 260 de matière azotée et minérale non utilisée par la fermentation ou cédée par elle, ce qui donne un total de 0 gr. 412 dont la différence à 0 gr. 334 est de 0 gr. 078.

Pour une fermentation de 100 grammes, cela ferait environ 0 gr. 8 d'augmentation, auxquels il faudrait ajouter une petite quantité de matière extractive enlevée par le mélange alcoolique éthéré, et qui, ainsi que nous l'avons vu, se trouve pour une part insignifiante dans la

1. La levûre renferme des matières azotées diverses et également des matières non azotées distinctes les unes des autres. Il y aurait une étude très intéressante à faire sur ce sujet. J'ai vu qu'on parviendrait à des résultats utiles en examinant séparément l'action de l'eau, de l'acide sulfurique étendu et de la potasse. Je crois qu'un examen de la levûre fait à ce point de vue des divers matériaux qui la composent pourrait donner le secret de certains changements qui s'observent dans la nature de l'extrait du liquide fermenté. En effet, en même temps que la levûre assimile une portion de sa matière soluble azotée et minérale, ce qui diminue son poids très sensiblement, elle augmente au contraire par l'introduction dans la liqueur des principes solubles qu'isolent les mutations qui s'accomplissent à l'intérieur de ses globules.

Si l'on fait bouillir la levûre avec de l'acide sulfurique plus ou moins étendu, que l'on filtre, que l'on évapore après saturation par le carbonate de baryte, et que l'on précipite par l'alcool de densités variables, on isole très distinctemenl des matières fort différentes les unes des autres par leurs propriétés et leur composition. Nul doute que ces matières [illegible] aux mutations de la levûre pendant la vie de ses globules.

glycérine et, pour le reste, fixé sur le succinate de chaux dans la méthode d'analyse que j'ai donnée des liquides fermentés.

J'ai répété bien souvent l'expérience qui précède et toujours avec les mêmes résultats sensiblement ; c'est-à-dire que dans la fermentation du sucre en présence des matières albuminoïdes il se forme à peu près 1 pour 100 du poids du sucre de levûre et produits solubles, un peu moins par conséquent que lorsqu'on opère avec de la levûre toute formée et de l'eau sucrée pure : nouvelle preuve que les choses se passent de la même manière dans les fermentations avec levûre et eau sucrée pure, ou avec levûre, eau sucrée et matières albuminoïdes [1].

La petite différence observée dans ces deux circonstances tient sans doute à ce que les globules, qui se forment au sein d'un milieu où l'aliment azoté est en excès, ont plus d'activité et sous un même poids décomposent plus de sucre que ceux qui prennent naissance dans un milieu appauvri en aliments minéraux ou azotés.

Elle pourrait être due également à des variations dans les conditions de l'assimilation pour des globules parfaits et pour des globules-bourgeons.

L'importance des résultats que j'essaye de faire prévaloir, considérés dans leurs rapports avec la théorie générale des phénomènes de la fermentation, m'a engagé à chercher une confirmation de plus de leur exactitude dans des expériences qui me paraissent aussi décisives que celles qui précèdent. Je viens d'essayer de prouver que la levûre de bière placée dans de l'eau sucrée vit aux dépens du sucre et de sa matière azotée et minérale, soluble ou pouvant le devenir par le fait des mutations qui s'effectuent entre les principes qu'elle renferme durant la fermentation.

S'il en est ainsi, et pour le vérifier autant qu'il est possible, déterminons les poids de sucre que peuvent décomposer : 1° un poids connu de levûre de bière; 2° la partie soluble d'un poids égal de la même levûre.

J'ai pris deux poids de levûre, égaux chacun à 6 gr. 254. L'une des portions a été mise à fermenter avec 100 grammes de sucre, l'autre portion a été entretenue à l'ébullition avec de l'eau pure pendant une heure, puis filtrée, et la liqueur limpide entièrement débarrassée des globules a été mêlée à 100 grammes de sucre et à une trace impondérable de levûre fraîche pour semence.

1. Lorsque je parle du poids de la levûre nouvelle qui se forme pendant la fermentation de l'eau sucrée pure sous l'influence de la levûre de bière, j'entends parler et du poids des nouveaux globules qui se forment réellement et du poids qui s'ajoute aux anciens pendant la continuation de leur vie.

Un essai pareil fait sur une troisième portion de la même levûre a montré que les 6 gr. 254 de la levûre cédaient à l'eau bouillante 0 gr. 325 de matière azotée et minérale avec un reste de 0 gr. 873 de produits insolubles.

Les fermentations ont eu, pour ainsi dire, une durée illimitée. Commencées le 1er juin 1858, elles continuaient encore dans les premiers jours de septembre, époque à partir de laquelle je n'ai pu les suivre davantage.

J'ai déjà appelé l'attention du lecteur sur cette durée indéfinie des fermentations lorsqu'il y a un excès de sucre, fait remarquable et assez facile, ce me semble, à expliquer aujourd'hui. Nous savons, en effet, que les matières azotées de la levûre ne se détruisent pas. Il n'y a que des déplacements ou des modifications de ces matières, mais elles restent dans l'état complexe que nous sommes habitués à rencontrer dans ces produits. Celles qui sont solubles se fixent, il est vrai, en partie à l'état insoluble sur les globules, mais la puissance d'organisation des globules est telle, que l'on comprend que les globules anciens puissent céder à l'état soluble leurs matières azotées solides, pour servir d'aliment aux globules récents (1).

La durée interminable en quelque sorte de ces fermentations avec excès de sucre rend les expériences du genre de celles que je décris extrêmement difficiles et délicates.

Quoi qu'il en soit, après plusieurs mois j'étudiai les liqueurs et je trouvai que dans celle où la levûre avait été employée en nature la fermentation était à peu près terminée, et que dans l'autre avec principes solubles de la levûre près de 70 grammes de sucre avaient disparu. Mais il restait encore de la matière azotée dans le liquide, et nul doute qu'on aurait pu aller au delà de 70 grammes, surtout en la recueillant à part pour la faire servir à une nouvelle fermentation du même ordre. On comprend en effet toute la gêne que doit apporter à la vie des globules un aliment dilué à ce point d'être contenu dans 750 centimètres cubes d'eau, sous le poids de quelques centigrammes.

Je ne voudrais pas soutenir cependant qu'un poids donné de la partie soluble de la levûre de bière puisse faire fermenter exactement autant de sucre que le poids brut de levûre qui aurait servi à fournir cette matière soluble.

Tout me porte à croire, en effet, qu'une certaine quantité de la portion des globules insoluble dans l'eau bouillante est capable de

1. Sur un exemplaire de son Mémoire, Pasteur a souligné « aux globules récents » et a noté en marge au crayon : « Il peut ne pas y avoir de globules récents. » *Note de l'Édition.*

céder à la liqueur un poids sensible de sa matière azotée pendant l'acte même de la fermentation. Néanmoins on voit, par l'expérience que je viens de rapporter et que j'ai souvent répétée avec le même résultat, quelle énorme proportion du sucre fermente par le fait seul de l'organisation des matières azotées et minérales immédiatement solubles, organisation provoquée par les globules eux-mêmes. Personne, je crois, ne pourra plus douter que la fermentation de l'eau sucrée pure ne soit réellement une fermentation qui s'effectue en présence de matières albuminoïdes et minérales [1].

Je donnerai, en terminant ce chapitre, les dosages d'azote des divers matériaux azotés d'une fermentation alcoolique où la levûre était aussi épuisée qu'il est possible.

Dans une fermentation où l'on avait employé, pour faire fermenter 100 grammes de sucre, 1 gr. 198 de levûre lavée (poids de matière sèche, la proportion d'azote de cette levûre étant de 9,77 pour 100), on a recueilli 1,745 de levûre après la fermentation. Cette levûre renfermait 5,5 pour 100 d'azote. Le résidu extractif du liquide fermenté insoluble dans le mélange d'alcool et d'éther pesait 0,600 et contenait 3,8 pour 100 d'azote.

La matière extractive souillant le succinate de chaux pesait 0,500 et ne contenait que $\frac{1}{2}$ pour 100 d'azote. Purifiée, elle n'en contient pas.

Ces dosages d'azote ont été effectués sur les produits de la fermentation où j'ai le plus épuisé la levûre, et l'on voit que la levûre après la fermentation contenait encore une forte proportion d'azote. D'ailleurs sa diminution, comparée à celle de la levûre brute employée, s'explique immédiatement en remarquant, d'une part, que 1,198 sont devenus 1,700 aux dépens du sucre, matière dépourvue d'azote; et, de l'autre, que ce même poids de levûre 1,198 a diminué en cédant au liquide de la matière azotée soluble, puisqu'on retrouve 0,600 de produits solubles; s'ils ne viennent pas entièrement de la levûre, ils sont fournis par elle en bonne part, puisqu'ils sont azotés. C'est là la double cause de la diminution de l'azote de la levûre pendant la fermentation : 1° augmen-

1. Les faits qui précèdent soulèvent la question intéressante de savoir s'il se fait autant de globules nouveaux avec un poids donné de levûre qu'avec la partie immédiatement soluble d'un poids égal de cette levûre, agissant tous deux respectivement sur une même quantité de sucre.

Il n'est pas douteux que les globules adultes peuvent continuer leur vie pendant un certain temps et décomposer du sucre sans bourgeonner et sans se multiplier. Mais il n'est pas moins certain qu'il s'en forme beaucoup de nouveaux et que c'est à ces derniers [illegible] pour une bonne part, la transformation du sucre. Ainsi il est facile de voir, fixée sur les parois verticales du vase de verre où s'effectue une fermentation, beaucoup de cette levûre nouvelle formée pendant la fermentation même aux dépens de la partie minérale et azotée soluble de la levûre, primitivement ajoutée à la liqueur.

tation de poids par le fait du sucre; 2° diminution de poids par le fait de la solubilité de certains principes azotés de la levûre [1].

§ V. — *Dans toute fermentation alcoolique une partie du sucre se fixe sur la levûre à l'état de cellulose.*

Le fait de la production de la levûre alcoolique dans un milieu composé de sucre pur et de phosphates montre toute la part que le sucre prend à la formation de la levûre, au moins dans ces conditions particulières.

Il ne peut être douteux : 1° que la cellulose de la levûre soit constituée par les éléments du sucre; 2° que l'ammoniaque se combine avec une autre partie du sucre pour former les matières albuminoïdes solubles et insolubles des globules.

Les choses se passent-elles d'une manière analogue dans le cas de la fermentation du sucre en présence des matières albuminoïdes ?

Les expériences dans le détail desquelles j'entrerai tout à l'heure ne laisseront à cet égard aucun doute. Elles établissent en effet qu'il y a

1. Les figures ci-contre représentent :

La figure 7, de la levûre en voie de formation rapide dans de l'eau sucrée mêlée de matières albuminoïdes et minérales. Les globules sont translucides, peu ou point granuleux, à contours très nets. Les bourgeonnements sont nombreux. Il n'y a presque pas de globules isolés. On ne voit guère que des paquets rameux de globules en chapelets.

La figure 8, de la levûre fraîche sortant de la brasserie, à contours très accusés, se dessinant en noir dans le champ du microscope. Les granulations sont encore peu distinctes. Il n'y a pas de bourgeons. Les globules sont presque tous disjoints et libres.

La figure 9, de la levûre à peu près épuisée. Beaucoup de globules très granuleux dont les contours sont à peine sensibles. Il y a en apparence deux enveloppes. On ne peut dire si elles existent réellement, ou s'il n'y en a qu'une seule très épaisse, dont on distinguerait la paroi interne et la paroi externe.

M. Mitscherlich s'exprime ainsi dans son Mémoire [sur les réactions chimiques produites par les corps qui n'interviennent que par leur contact. *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., VII, 1843, p. 30] que j'ai déjà cité : « Quand on prend des globules parfaitement organisés, ils ne subissent presque pas de changement pendant la fermentation. »



Fig. 7. Fig. 8. Fig. 9.

Plus loin, à la page 31, il ajoute : « En employant des globules de ferment parfaits pour provoquer la fermentation du sucre, je n'ai pas remarqué qu'ils se développassent. »

Ces observations de M. Mitscherlich sont complétement en désaccord avec les miennes : 1° les globules adultes parfaitement organisés s'altèrent profondément pendant la fermentation; 2° les globules parfaits se développent, se multiplient pendant la fermentation de l'eau sucrée pure ou dans l'eau sucrée mêlée aux matières albuminoïdes.

plus de cellulose dans la levûre après qu'avant la fermentation. De telle sorte qu'en les rapprochant de celles dont je viens de rappeler les résultats, elles rendent extrêmement probable, sinon certain, que toute la cellulose des globules de levûre est constituée par les éléments du sucre [1].

Que se passe-t-il, d'autre part, entre le sucre et les matières albuminoïdes, quand le sucre fermente en présence de ces matières? Y a-t-il encore une fixation du sucre comme cela avait lieu indubitablement avec l'ammoniaque? Les matières albuminoïdes solubles des globules ne sont-elles pas par elles-mêmes aptes à entrer dans la constitution des globules, à s'y fixer à l'état solide, uniquement par une sorte de changement isomérique? Faut-il, comme dans le cas de l'ammoniaque, que le sucre intervienne, les modifie en leur cédant tout ou partie de ses éléments? C'est là un des points les plus délicats de ces études. Il y aurait témérité à assimiler *a priori* les deux modes de fermentation avec ammoniaque et avec matières azotées complexes, et d'affirmer par analogie que le sucre doit intervenir aussi dans le second cas pour modifier les matières albuminoïdes et les rendre propres à la nourriture des globules. Nous verrons cependant que l'augmentation de poids de la levûre due à la cellulose fixée ne suffit pas pour rendre compte de l'augmentation de poids totale de la levûre pendant la fermentation; c'est-à-dire que, si l'on ajoute au poids de la levûre employée tout le poids de cellulose fixée pendant la fermentation, on n'atteint pas le poids total de la levûre et de sa partie soluble tel qu'on le trouve après que la fermentation est achevée.

Il n'est donc pas possible de douter qu'en dehors de la formation de la cellulose une partie sensible du sucre se fixe sur la levûre. Mais s'y fixe-t-elle en modifiant la matière azotée, comme dans le premier cas elle se fixe sur l'ammoniaque pour la rendre apte à entrer dans le corps des globules?

Je suis porté à le croire, mais il y aurait imprudence à l'affirmer. Je n'ai pas de preuves décisives. Ainsi la différence entre l'augmentation totale du poids de la levûre et le poids de cellulose fixé pourrait s'expliquer par la production d'un ou plusieurs corps particuliers dont

1. J'ai reconnu dans le cours de mes recherches un genre de fraude que je crois récent, employé par quelques marchands de levûre, et contre lequel il faut se prémunir. Il consiste dans une addition quelquefois considérable de fécule de pommes de terre dans la levûre de bière destinée aux boulangers. Un examen microscopique de la levûre en avertit bien facilement. Les grains de fécule se dissolvent pendant la fermentation, mais en quantité très minime, contrairement à ce que l'on aurait pu présumer, puisque le liquide s'acidifie progressivement. Dans les fermentations de longue durée on voit nettement beaucoup de globules de fécule rongés à la surface et en partie dissous et désagrégés.

aucun n'interviendrait dans les modifications que subissent les matières azotées.

Cette étude de l'influence des matières hydrocarbonées dans la formation des substances albuminoïdes offre un grand intérêt; mais elle est bien délicate et les faits demandent à être interprétés avec beaucoup de prudence.

Ces conditions générales étant posées, étudions la proportion de cellulose de la levûre avant et après la fermentation.

J'ai mis en fermentation :

100 grammes de sucre,
750 centimètres cubes d'eau environ,
2,626 levûre (poids de matière sèche).

Après la fermentation, qui a duré vingt jours, j'ai recueilli 2 gr. 965 de levûre (poids de matière sèche). J'ai alors fait bouillir avec de l'acide sulfurique étendu de 20 fois son poids d'eau pendant plusieurs heures (de six à huit heures) deux poids déterminés de la levûre fermentée et de la même levûre avant la fermentation.

Le poids de la levûre fermentée était de 1,707 et le poids de la levûre non fermentée de 1,730 pris à 100°.

Les résidus insolubles dans l'acide sulfurique ont été recueillis sur des filtres tarés et desséchés à 100°. Quant aux liqueurs, après avoir saturé leur acide par le carbonate de baryte à l'ébullition, j'ai déterminé la proportion de sucre qu'elles contenaient, tant par la liqueur de Fehling que par la quantité d'acide carbonique fourni par la fermentation.

En réduisant les résultats obtenus au poids de levûre 2,626 et 2,965, on trouve que 2,626 de levûre brute donnent un résidu insoluble azoté égal à 0,391 (soit 14,8 pour 100) et 0,532 de sucre fermentescible; tandis que les 2,965 fournissent un résidu azoté de 0,634 (soit 21,4 pour 100) et 0,918 de sucre fermentescible. Il résulte de là :

1°. Que dans la fermentation de 100 grammes de sucre opérée par 2,626 de levûre de bière, il s'est fixé environ 0,4 de matière hydrocarbonée transformable par l'acide sulfurique étendu en sucre fermentescible;

2°. Qu'il y a une augmentation sensible de celles des matières azotées qui sont insolubles dans l'acide sulfurique étendu.

Ce dernier résultat est une preuve nouvelle que pendant la fermentation il y a fixation à l'état insoluble des matières albuminoïdes solubles que renferme la levûre active.

Il restait à savoir si par l'ébullition avec l'acide sulfurique étendu

j'avais bien dissous toute la cellulose. Afin de le reconnaître, j'ai déterminé la proportion de cellulose de la levûre brute par la méthode de M. Schlossberger. J'ai dit que M. Schlossberger utilisant la potasse, réactif si souvent employé par M. Payen dans ses recherches pour dissoudre les matières albuminoïdes, avait réussi à enlever celles de la levûre à peu près complètement en laissant pour résidu une matière de la composition de la cellulose et transformable par l'acide sulfurique en sucre fermentescible.

J'ai traité par la potasse trois portions de levûre lavée pesant chacune 4 gr. 757 après dessiccation à 100°.

La première a été mise en digestion avec de la potasse concentrée de densité égale à 1,25; la deuxième avec une solution à 10 pour 100; la troisième avec une solution à 5 pour 100 de potasse caustique.

Le contact a duré huit jours, et tous les jours on plaçait les flacons pendant deux heures au bain-marie.

On a ensuite filtré et lavé à l'acide acétique, puis desséché les filtres à 100°.

Les résidus insolubles, formés de matière hydrocarbonée transformable en sucre par l'ébullition avec l'acide sulfurique étendu et ne laissant après ce traitement qu'une quantité de matière à peine sensible, ont été dans les trois essais de 17,77, 19,29 et 19,21 pour 100 du poids de levûre sèche.

Or les 0,532 de sucre fournis sans l'intermédiaire de l'action de la potasse par 2 gr. 626 de levûre correspondent à 20,2 pour 100 du poids de la levûre. L'ébullition avec l'acide sulfurique étendu avait donc bien enlevé toute la cellulose.

Les résultats qui précèdent accusent une proportion de cellulose dans la levûre moindre que celle donnée par M. Payen [*loc. cit.*]; mais je ferai observer, d'une part, que le dosage effectué par M. Payen paraît avoir été indirect, et il est bien évident d'autre part, d'après tout ce que nous venons de dire, que la proportion de cellulose de la levûre varie avec son âge et son action plus ou moins prolongée sur le sucre. Ainsi nous venons de reconnaître que la levûre recueillie après la fermentation avait fourni 0,918 de sucre pour un poids de matière égal à 2,965, ce qui indique 31,9 pour 100 de cellulose, nombre plus élevé de 11 pour 100 qu'il n'était avant la fermentation.

Je n'ai pas besoin de faire remarquer que cette augmentation considérable du poids de la cellulose dans la levûre, pendant qu'elle exerce son action sur le sucre, est encore une preuve à ajouter à toutes celles que j'ai données de la vie de la levûre pendant la fermentation alcoolique.

§ VI. — *Dans toute fermentation alcoolique une partie du sucre se fixe sur la levûre à l'état de matières grasses.*

Depuis longtemps Braconnot a signalé la présence de matières grasses dans la lie, qui n'est autre chose, pour une bonne partie, que de la levûre de vin. L'analyse précédemment citée de M. Payen donne 2 pour 100 de matières grasses dans la levûre de bière.

On croit généralement que les substances grasses de la levûre sont empruntées aux substances grasses de l'orge ou des autres corps qui servent à préparer la levûre. J'ai reconnu par une expérience directe, très facile à reproduire, que pendant la fermentation la levûre forme elle-même sa graisse à l'aide des éléments du sucre.

Je mêle à de l'eau sucrée, préparée avec du sucre candi très pur, de l'extrait d'eau de levûre limpide traité à plusieurs reprises par l'alcool et l'éther. A la solution mixte j'ajoute comme semence une quantité pour ainsi dire impondérable de globules frais de levûre. Ils se multiplient, le sucre fermente, et j'arrive de cette façon à préparer quelques grammes de levûre au moyen de substances ne contenant pas la plus petite quantité de matières grasses. Or je trouve que la levûre formée dans ces conditions renferme néanmoins de 1 à 2 pour 100 de son poids de corps gras facilement saponifiables et à acides gras cristallisables. Cette graisse ne peut provenir que des éléments du sucre ou des éléments de la matière albuminoïde ; mais j'ai constaté d'autre part que la levûre préparée dans un milieu formé d'eau, de sucre, d'ammoniaque et de phosphates renferme également de la matière grasse. C'est donc aux éléments du sucre que la matière grasse de la levûre est empruntée.

Ces expériences rappellent par leurs dispositions celles que MM. Dumas et Milne Edwards [1] ont exécutées en commun pour vérifier les observations de Huber sur l'origine de la cire des abeilles. Elles apportent une confirmation aux vues que M. Dumas a depuis longtemps émises sur la formation possible des matières grasses à l'aide des sucres (2).

1. DUMAS et MILNE EDWARDS. Sur la composition de la cire des abeilles. *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., XIV, 1844, p. 400-408. (*Note de l'Édition.*

2. *Voir* à ce sujet DUMAS, BOUSSINGAULT et PAYEN. Recherches sur l'engraissement des bestiaux et la formation du lait]. *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., VIII, 1843, p. 70 et suivantes.

§ VII. — *Vitalité permanente des globules de levûre.*

Lorsque j'ai voulu, suivant l'exposition que j'en ai faite dans l'un des précédents chapitres, confirmer les résultats que j'avais obtenus sur la présence de l'acide succinique et de la glycérine dans les liqueurs fermentées par le dosage exact de l'acide carbonique, j'ai rencontré des difficultés singulières. Tantôt j'arrivais à des nombres satisfaisants, tantôt le volume de l'acide carbonique dépassait le résultat calculé, sans qu'aucune explication légitime en pût être trouvée.

Peu à peu, je reconnus que la cause des divergences dans les résultats pourrait bien être due à l'emploi de trop fortes proportions de levûre, que l'on est toujours enclin à exagérer dans les opérations sur de petites quantités de sucre. Je fus mis sur la voie de la vérité par le fait suivant : Dans un but particulier, qu'il est inutile d'indiquer ici, j'avais mis à fermenter 5 grammes de sucre avec 10 grammes de levûre en pâte équivalant à 2 gr. 155 de matière sèche, poids de levûre bien supérieur à ce qui est nécessaire pour transformer 5 grammes de sucre. Or je fus très surpris de voir que cette fermentation ne s'achevait pas très franchement, et qu'elle avait une tendance à se prolonger par un dégagement de gaz très faible, comme il arrive quand le sucre est au contraire en grand excès par rapport à la levûre. En outre, la liqueur, étudiée par le réactif cuivrique de Fehling, ne renfermait pas la moindre quantité de sucre, malgré l'indication contraire donnée par le dégagement de gaz carbonique.

Je disposai alors dans des ballons renversés sur le mercure les fermentations suivantes :

I.	Sucre candi	1,313
	Levûre de vin dépôt des tonneaux soutirés	6,950
	Eau pure	9,336.
II.	Sucre candi	1,4425
	Levûre de bière (contenant 2,150, poids de matière sèche)	10,000
	Eau pure	9,210.

Deux jours après, le dégagement de gaz est encore sensible dans les ballons, et cependant le premier renferme 360 centimètres cubes de gaz et le second 387 cc. 5 à 0° et 760 millimètres.

Les quantités théoriques, même abstraction faite de l'acide succinique et de la glycérine, sont 341 cc. 8 et 375 cc. 5.

Le gaz, malgré cet excès de volume, était complètement absorbable par la potasse. C'était de l'acide carbonique pur.

Il n'était donc pas possible de douter que dans le cas où l'on emploie une forte proportion de levûre on obtienne un volume de gaz carbonique pur bien supérieur à celui qu'indique l'équation théorique de Lavoisier, qui pèche déjà par excès. Afin de mieux étudier ce phénomène très inattendu, j'exagerai encore davantage le poids de la levure. Le resultat des essais que j'entrepris dans cette direction ayant toujours été le même, je ne rapporterai qu'une expérience : 0 gr. 424 de sucre candi ont été mis à fermenter avec 10 grammes de levûre (poids de matière sèche). Le surlendemain le volume total du gaz acide carbonique s'élève à 300 centimètres cubes, près de 3 fois supérieur au volume théorique, qui n'est que de 110 centimètres cubes.

Il y avait un grand intérêt à savoir si cet acide carbonique en excès était le résultat d'une véritable fermentation alcoolique s'exerçant sur les matières hydrocarbonées de la levûre. A cet effet, j'ai recueilli et distillé tout le liquide mêlé à la levûre et à une certaine quantité d'eau de baryte qui avait servi à reconnaître que le gaz formé était de l'acide carbonique sans mélange d'hydrogène ou d'autre gaz. 50 centimètres cubes de liquide alcoolique ont été recueillis et ont été distillés une seconde fois, et le nouveau liquide étudié à l'aide d'un très petit alcoomètre. Afin d'être bien sûr des indications de cet alcoomètre, j'ai composé plusieurs liquides avec des mélanges d'eau et d'alcool absolu en poids connus, et j'ai étudié par comparaison ces divers mélanges et le liquide distillé de manière à comprendre celui-ci entre deux liquides de composition connue.

J'ai trouvé ainsi dans le cas présent un peu plus de 0 gr. 6 d'alcool absolu.

Il s'est donc formé beaucoup plus d'alcool que le sucre employé ne pouvait en fournir et une quantité en rapport avec le volume de gaz carbonique total.

Nous avons bien affaire à une véritable fermentation alcoolique.

Ainsi, lorsque l'on mêle à de la levûre un poids de sucre proportionnellement très faible, après qu'il a été décomposé, l'activité de la levûre continue, s'exerçant sur ses propres tissus avec une énergie et une rapidité extraordinaires, qui vont se ralentissant de plus en plus.

Ce phénomène offre plusieurs particularités très dignes d'intérêt :

1°. Si l'on met fin à la fermentation au moment où il y a un volume d'acide carbonique formé égal ou très peu supérieur à celui qui correspond au poids du sucre employé, on ne trouve plus de sucre dans la liqueur. Il résulte de là que la levûre exerce son action sur le sucre avant de l'exercer sur elle-même. Elle se nourrit de sucre tant qu'il y en a, et lorsqu'il est épuisé, sa vie ne peut s'arrêter subitement et elle

continue aux dépens des matériaux qu'elle trouve dans ses propres tissus.

2°. Il faut noter l'activité considérable de la fermentation secondaire succédant à celle du sucre.

3°. L'effet produit par la levûre sur elle-même n'est pas du tout proportionnel au poids de levûre. Il croît bien plus rapidement. Je vais entrer dans quelques détails sur ce point qui a beaucoup d'importance. M. Thenard et tous les auteurs avec lui recommandent pour obtenir une bonne fermentation alcoolique l'emploi d'une quantité de levûre égale à 20 pour 100 du poids du sucre, soit 5 pour 100 environ si la levûre est prise à l'état sec. On peut augmenter ou diminuer cette proportion de levûre sans qu'il se présente rien de particulier, si ce n'est une durée moindre ou plus grande du phénomène. Il m'est arrivé souvent de faire fermenter le sucre avec 1 pour 100 de son poids de levûre (poids de matière sèche), et encore cette levûre avait été lavée, ce qui diminue son activité. On peut même descendre au-dessous de ce chiffre.

Il semblerait dès lors que, dans tous les cas où l'on dépasse ces doses minima de levûre, une portion de celle-ci restant active et capable d'agir sur de nouveau sucre devrait exercer sur elle-même ce reste de vie, et que la proportion d'acide carbonique et d'alcool en serait accrue. Il n'en est rien. J'ai porté le poids de levûre jusqu'à 8 pour 100 (poids de matière sèche) ou 40 pour 100 (poids de matière en pâte), et je n'ai pas obtenu un volume d'acide carbonique supérieur à celui qu'indique un calcul rigoureux, c'est-à-dire en tenant compte de l'acide succinique et de la glycérine formés pendant la fermentation. Je n'ai pas fait assez d'expériences pour connaître la limite à partir de laquelle la levûre agirait sur elle-même ; je crois qu'il faudrait bien aller jusqu'à employer autant de levûre en pâte que de sucre, et qu'avec cette proportion même de levûre il n'y aurait pas sensiblement de différence pour le volume d'acide carbonique (si même il y en avait) avec ce qui se passe dans les cas ordinaires[1]. Il résulte de ces observations qu'un épuisement même faible de la levûre en présence du sucre lui ôte cette activité capable de s'exercer sur les matières hydrocarbonées de ses propres tissus ; et elle peut encore transformer du sucre alors qu'elle ne peut plus rendre soluble et transformer la cellulose de ses enveloppes.

Je suis très porté à interpréter les faits qui précèdent de la manière suivante : La levûre de bière formée à peu près exclusivement de

1. Cependant ces proportions doivent varier beaucoup avec l'activité de la levûre.

globules arrivés à leur développement normal, adultes si l'on peut s'exprimer ainsi, est mise en présence du sucre. Sa vie recommence. Elle donne des bourgeons. C'est un fait avéré. Y a-t-il assez de sucre dans la liqueur, les bourgeons se développent, assimilent du sucre et la matière albuminoïde des globules mères. Ils arrivent ainsi peu à peu au volume que nous leur connaissons. Voilà l'image fidèle des fermentations lentes ordinaires. Supposons au contraire un poids de sucre de beaucoup insuffisant pour amener les premiers développements à l'état de globules complets ou même de globules formés et visibles, on se trouvera alors dans le cas des expériences que je viens de rapporter, et l'on aura affaire en quelque sorte à des globules mères ayant tous de très jeunes petits. La nourriture extérieure venant à manquer, les très jeunes bourgeons vivent alors aux dépens des globules mères.

Les faits qui précèdent ont appelé mon attention sur une circonstance relative à la levûre depuis bien longtemps remarquée, et qui, par sa liaison avec ce que nous venons de dire, prend une importance tout autre que celle qu'on lui avait attribuée jusqu'à ce jour. Chacun sait que la levûre délayée dans l'eau pure, surtout en été, laisse dégager des bulles de gaz qui partent des divers points de la masse et viennent crever à la surface du liquide en soulevant avec elles un peu de la levûre déposée. On expliquait ce phénomène, comme tous ceux du même genre, en disant que par l'effet du contact de l'air un mouvement de décomposition commençait dans la levûre, que la levûre s'altérait. On paraissait d'autant plus autorisé à porter ce jugement qu'au bout de quelques jours la levûre répand une odeur très désagréable, que les gaz dégagés renferment beaucoup d'hydrogène, de l'hydrogène sulfuré en petite quantité, et qu'au microscope une goutte du liquide ou du dépôt se montre remplie d'infusoires, de vibrions, etc., qu'enfin la levûre perd beaucoup de son énergie.

L'explication que l'on donne de ces phénomènes est loin d'être exacte. Il est bien vrai que la levûre ainsi abandonnée sous l'eau finit par entrer en putréfaction. Mais le premier mouvement gazeux n'est point du tout le commencement de cette putréfaction subséquente. La levûre très active que l'on délaye dans l'eau porte son activité sur ses propres tissus, et c'est une véritable fermentation qui s'accomplit. Il se produit de l'alcool en quantité extrêmement sensible et du gaz acide carbonique parfaitement pur, et l'on voit les globules s'altérer absolument comme il arrive dans le cas des fermentations alcooliques ordinaires. Que le gaz carbonique soit pur, rien de plus facile que de le reconnaître en plaçant la bouillie dans un tube renversé plein de mercure; pour l'alcool, il suffit de déterminer la quantité d'alcool de la levûre le

premier, le deuxième, le troisième, le quatrième jour. La proportion d'alcool presque insignifiante le premier jour, si l'on a lavé la levûre et rejeté les eaux de lavage, augmente progressivement, et tant que le microscope n'accuse que la présence de la levûre de bière, c'est une véritable fermentation alcoolique qui s'opère. Le gaz hydrogène n'apparaît, la formation de l'alcool ne s'arrête qu'après les premiers jours, alors que le microscope fait voir diverses levûres, notamment la levûre lactique, et des infusoires.

C'est là précisément le phénomène que nous avons étudié tout à l'heure, mais dans des conditions où il était exagéré par l'effet de la fermentation de la petite quantité de sucre qui l'avait précédé.

Ces observations me paraissent avoir une utilité réelle. Non seulement elles nous donnent la clef des altérations spontanées de la levûre, en dehors de toute putréfaction, elles montrent en outre que la vie de cette espèce de mycoderme se déclare dès que les conditions de température et d'humidité sont convenables. Comme une graine toujours prête à germer, la levûre, si elle a la température et l'eau nécessaires, vit aux dépens de sa propre substance, et sa vie se manifeste par l'acte physiologique qui la caractérise : la formation de l'acide carbonique, de l'alcool, de l'acide succinique et de la glycérine [1]. Vient-on à placer cette levûre en présence du sucre, elle ne fait que continuer cette vie qui n'est jamais suspendue, mais alors elle en accomplit toutes les phases avec une bien plus grande énergie apparente, parce que dans le même temps la somme de vie et d'organisation est incomparablement accrue.

§ VIII. — *Application de quelques-uns des résultats de ce Mémoire à la composition des liquides fermentés. Études particulières sur le vin.*

Nous avons reconnu que la glycérine et l'acide succinique étaient des produits constants de la fermentation alcoolique. Ils doivent donc exister dans tous les liquides qui ont subi cette fermentation, tels que le vin, la bière, le cidre, etc..., et on les y trouve en effet, bien que jusqu'ici les nombreuses analyses de ces liqueurs fermentées ne les

1. Si l'on place sur le porte-objet du microscope une très petite cuve de verre renfermant de la levûre jeune translucide, peu ou point granuleuse intérieurement, délayée dans l'eau pure, sans la moindre addition de sucre, on la voit, dans l'espace de quelques heures, devenir progressivement granuleuse et dégager du gaz acide carbonique pur. Il s'y forme des vacuoles internes et des granulations pareilles à celles qui s'y produisent lorsqu'elle agit directement sur les sucres.

aient pas encore signalés. Les matières extractives, incristallisables, que ces liqueurs renferment toujours, ont masqué leur présence.

Je n'ai fait d'études particulières que sur le vin, la plus utile et la plus répandue en France des boissons alcooliques.

Voici le procédé dont je me suis servi pour extraire la glycérine et l'acide succinique du vin : 250 centimètres cubes du vin sont décolorés par 20 grammes de charbon animal ; on filtre et on lave bien le charbon sur le filtre. Le liquide filtré est évaporé doucement, et lorsque son volume est réduit à 100 centimètres cubes environ, on le traite par quelques grammes de chaux éteinte pour saturer tous les acides. On achève l'évaporation dans le vide sec. La masse qui reste est traitée dans la capsule même où elle se trouve, ou mieux encore dans un mortier, par le mélange d'alcool et d'éther dont il a été question dans le cours du Mémoire, formé de 1 partie d'alcool à 90 ou 92°, et 1 $\frac{1}{2}$ partie d'éther rectifié à 62°.

Ce traitement est assez difficile, parce qu'une partie du résidu est plastique ; mais peu à peu il se grumelle et on peut broyer le tout. Chaque portion du lavage est jetée sur le filtre, et le liquide éthéré est évaporé avec les précautions que j'ai indiquées, dans une capsule tarée dont la dessiccation s'achève dans le vide sec.

La glycérine ainsi préparée est à peu de chose près pure, ainsi que le prouvent son analyse et sa saveur (elle ne renferme pas plus de 1 à 1 $\frac{1}{2}$ pour 100 de matières étrangères).

Voici un tableau de quelques analyses faites en suivant ces indications.

	QUANTITÉ de glycérine par litre, déduite de l'analyse faite sur 1/4 de litre	QUANTITÉ d'acide succinique par litre, calculée d'après les proportions de glycérine.	QUANTITÉ d'alcool. Poids pour 100 cent. cubes de vin.
	gr.	gr.	gr.
Vin vieux de Bordeaux (Bonne qualité)	7,412	1,48	7,5
Vin de Bordeaux ordinaire	6,97	1,39	7,35
Vin de Bourgogne vieux (Bonne qualité)	7,34	1,47	8,1
Vin de Bourgogne ordinaire . . .	4,34	0,87	7,8
Vin d'Arbois vieux (Bonne qualité).	6,75	1,35	9,0

La proportion de glycérine trouvée dans le bourgogne ordinaire est très faible. Je serais porté à croire que ce vin avait été additionné d'eau et d'alcool, ce qui diminue les proportions de la glycérine et de l'acide succinique.

Les nombres donnés pour l'acide succinique ont été déduits par le calcul de ceux de la glycérine, en prenant pour rapport de ces deux

produits celui qui a été le plus ordinaire dans toutes les fermentations que j'ai analysées : 3,5 de glycérine pour 0,7 d'acide succinique environ.

J'ai retiré, de chacun des vins inscrits au tableau, de l'acide succinique cristallisé et pur ; mais, dans le dosage exact de cet acide, j'ai trouvé des difficultés que je n'ai pas encore levées entièrement pour le séparer sans perte de tous les autres matériaux du vin. J'aurai l'occasion de revenir sur ce détail intéressant.

Les vins dont la fermentation a enlevé tout le sucre donnent une quantité d'extrait qui varie, suivant les auteurs, de 15 à 25 grammes par litre. Plus du tiers, souvent près de la moitié des matériaux solides du vin étaient donc inconnus jusqu'à ce jour, et les plus importants sans contredit. Tout le monde sera porté à attribuer à la glycérine, principe essentiel des matières grasses, une part utile dans les propriétés bienfaisantes du vin. La présence de la glycérine dans le vin, où elle est associée à des matières albuminoïdes et à des phosphates, mérite l'attention sérieuse des physiologistes. L'acide succinique, malgré sa proportion relativement faible, est loin d'être négligeable. La saveur de cet acide a quelque chose d'étrange, et en mélangeant de l'eau, de l'alcool, de la glycérine et de l'acide succinique dans les proportions de la fermentation, on est surpris de sentir à quel degré ces mélanges rappellent le vin. On acquiert ainsi la conviction que la saveur propre à cette boisson, dans ce qu'elle a de plus *sui generis*, est due pour une part essentielle à l'acide succinique.

La proportion de glycérine trouvée dans ces diverses espèces de vin, mise en rapport avec la teneur en alcool de laquelle on peut déduire approximativement le poids primitif de sucre du moût de raisin, paraît indiquer que dans la fermentation du moût de raisin il se forme bien plus de glycérine et d'acide succinique que dans les fermentations ordinaires. Cette circonstance peut tenir à diverses causes. On aurait pu croire, par exemple, que la levûre du raisin était une variété particulière de levûre alcoolique, ayant son action spéciale et un peu différente des variétés d'une autre origine. Afin de vérifier cette présomption, j'ai fait venir d'un vignoble du Jura de la levûre de vin de la récolte de 1858. Cette levûre n'était autre que le dépôt resté dans un tonneau de vin blanc après le soutirage dans les premiers jours de mars. J'ai lavé cette lie sur un filtre. Elle avait au microscope l'aspect de la levûre de bière. Ses globules étaient très granuleux. Elle différait un peu de la levûre de bière ordinaire par la grosseur inégale de ses grains. Mais il n'y avait pas du tout de globules très petits, et aucune trace de levûre lactique ni de corps étrangers.

L'activité de cette levûre était de force moyenne.

50 grammes de sucre candi ont été mis à fermenter avec 10 grammes de cette levûre renfermant à l'état sec 3 gr. 785 de matière.

Le 7 et le 9 avril, la fermentation fut terminée. Plus du tout de sucre à la liqueur cuivrique. Au microscope, ni levûre lactique, ni levûre quelconque étrangère. La fermentation a donc été franchement et entièrement alcoolique.

J'ai recueilli après la fermentation :

1°. 2 gr. 750 de levûre desséchée à 100°.

2°. 1 gr. 576 de matières extractives, insolubles dans le mélange éthéré, celle qui accompagne le succinate de chaux comprise.

La somme 2,750 + 1,576 est égale à 4,326. Si on soustrait les 3,875 de levûre sèche employée, on trouve 0,541 de différence. Ainsi pour 50 grammes de sucre il s'est fixé sur cette levûre de vin 0,541 de cellulose et d'autres matières, soit 1,182 pour 100 de sucre. Ce résultat s'accorde très bien avec ceux des fermentations avec levûre de bière ordinaire, bien qu'il y ait des différences sensibles dans la proportion des matières solubles et insolubles de ces levûres de bière et de vin. Cela ressort des nombres mêmes que j'ai donnés. Quant à l'acide succinique, j'en ai trouvé 0 gr. 433, calculé d'après le poids de chaux nécessaire à la saturation. Enfin le poids de glycérine déterminé avec de grands soins à été égal à 1,833.

Ces nombres correspondent en les doublant à 0,866 d'acide succinique et 3,666 de glycérine pour 100 de sucre. Ils se rapprochent beaucoup de ceux que l'on trouve dans les fermentations lentes avec levûre des brasseries, et ils sont un peu supérieurs au contraire à ceux des fermentations rapides.

Ainsi, la levûre de vin fournit les mêmes résultats que la levûre de bière. Ce serait donc plutôt aux conditions particulières du milieu pendant la fermentation du moût de raisin qu'il faudrait attribuer la forte proportion de glycérine et d'acide succinique que nous avons trouvée dans le vin, ou à quelque autre circonstance inconnue.

Quoi qu'il en soit, l'étude que nous venons de faire de certaines variétés de vin et des produits de la fermentation par la levûre du raisin apporte une confirmation précieuse de la vérité de quelques-uns des principaux résultats de ce Mémoire.

Quant à l'interprétation de l'ensemble des faits nouveaux que j'ai rencontrés dans le cours de ces recherches, j'ai la confiance que quiconque les jugera avec impartialité reconnaîtra que la fermentation alcoolique est un acte corrélatif de la vie, de l'organisation de globules, non de la mort ou de la putréfaction de ces globules, pas

plus qu'elle n'apparaît comme un phénomène de contact où la transformation du sucre s'accomplirait en présence du ferment sans lui rien donner ni lui rien prendre.

C'est par ces lignes que je terminais déjà mon Mémoire relatif à la découverte de la levûre lactique, production organisée entièrement comparable à la levûre alcoolique, et à la présence de laquelle sont dus tous les phénomènes de fermentation lactique, comme à la levûre ordinaire doivent être rapportés les divers phénomènes de fermentation alcoolique.

NOTE SUR LA FERMENTATION ALCOOLIQUE [1]

M. Berthelot a soumis à l'Académie dans sa séance du 28 mai dernier une Note intitulée : *Sur la fermentation glucosique du sucre de canne* [2], au sujet de laquelle j'ai besoin de présenter quelques observations.

Chacun sait que le sucre de canne mêlé à de la levûre de bière éprouve deux modifications : l'une qui le change en sucre déviant à gauche la lumière polarisée, c'est ce qu'on appelle l'inversion du sucre; l'autre qui est la fermentation proprement dite, c'est-à-dire la production de l'alcool, de l'acide carbonique, de la glycérine, etc.

La Note de M. Berthelot a pour objet de montrer que l'extrait liquide de la levûre peut intervertir le sucre sans lui faire éprouver la fermentation proprement dite.

« L'extrait de levûre, dit-il, se borne à intervertir le sucre sans lui faire éprouver la fermentation alcoolique, et sans donner lieu au développement immédiat d'êtres organisés. »

Puis il ajoute :

« L'extrait de la levûre renferme donc un *ferment* particulier, soluble dans l'eau et capable de changer le sucre de canne en sucre interverti. »

Je rapporte les résultats de M. Berthelot tels qu'il les donne, sans en répondre autrement.

On voit, dans tous les cas, par les paroles mêmes de M. Berthelot, qu'il appelle ici *ferment* des substances solubles dans l'eau, capables d'intervertir le sucre. Or tout le monde sait qu'il y a une foule de substances jouissant de cette propriété, par exemple tous les acides.

Pour moi, lorsqu'il s'agit de sucre de canne et de levûre de bière, je n'appelle ferment que ce qui fait fermenter le sucre, c'est-à-dire ce qui produit de l'alcool, de l'acide carbonique, etc. Quant à l'inversion,

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 11 juin 1860, L, p. 1083-1084. — *Bulletin de la Société chimique de Paris*, 1858-1860, séance du 8 juin 1860, p. 183-184.

2. Berthelot. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, L, 1860, p. 980-984. (*Note de l'Édition.*)

je ne m'en suis pas occupé. Relativement à la cause qui la détermine, je n'ai fait que proposer un doute en passant, dans une note du Mémoire où je viens de résumer trois années d'observations sur la fermentation alcoolique.

Par conséquent, l'opposition que M. Berthelot croit trouver entre mes énoncés et les faits réels tient seulement à l'extension qu'il donne au mot ferment, tandis que je l'ai toujours et uniquement appliqué aux substances qui produisent les fermentations proprement dites.

NOTE RELATIVE AU *PENICILLIUM GLAUCUM* ET A LA DISSYMÉTRIE MOLÉCULAIRE DES PRODUITS ORGANIQUES NATURELS (1)

J'ai l'honneur de communiquer à l'Académie un fait nouveau qui me paraît offrir beaucoup d'intérêt.

Je dissous dans de l'eau du paratartrate acide d'ammoniaque pur et des quantités fort minimes de phosphates ; puis je sème dans la liqueur quelques spores de *penicillium glaucum*. Ces spores se développent, et reproduisent la plante mère, dont le poids augmente peu à peu d'une manière notable, empruntant sa nourriture à l'oxygène de l'air et aux éléments minéraux et organiques de la solution. En même temps que la plante grandit, l'acide tartrique droit disparaît et l'acide tartrique gauche reste dans la liqueur, d'où il est facile de l'isoler (2).

Je rappellerai cette curieuse expérience que j'ai publiée l'an dernier, où de la levûre de bière, semée dans de l'eau sucrée en présence de phosphates et de sels d'ammoniaque, se multipliait et faisait fermenter le sucre (3).

Les résultats que j'ai l'honneur de faire connaître aujourd'hui offrent avec ceux-ci quelque analogie. La mucédinée remplace le ferment, l'acide paratartrique remplace le sucre. Avec le sucre et la levûre de bière, tout le sucre se transforme, ou, pour emprunter le langage ordinaire, tout le sucre fermente. Le *penicillium* fait un choix. Mais je rappellerai également cette fermentation singulière du paratartrate d'ammoniaque, où j'ai vu une levûre spéciale décomposer l'acide tartrique droit, en respectant l'acide gauche (4). Ici l'analogie va plus loin que tout à l'heure entre le *penicillium* et le ferment, et tous

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 20 août 1860, LI, p. 298-299.

2. Si l'on se sert de sucre de canne au lieu d'acide paratartrique, le sucre se transforme tout entier.

3. Pasteur. Nouveaux faits concernant l'histoire de la fermentation alcoolique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLVII, 1858, p. 1011-1013, et p. 31-32 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

4. Pasteur. Mémoire sur la fermentation de l'acide tartrique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLVI, 1858, p. 615-618, et p. 25-28 du présent volume. (*Note de l'Édition*)

deux, pour se développer, préfèrent le corps droit au corps gauche.

Je ne crois pas devoir entrer pour le moment dans plus de détails. J'ajouterai seulement que, outre les vues que ces résultats suggèrent à la physiologie végétale, et les idées qu'elles laissent pressentir sur la cause des fermentations, ils s'offrent comme un moyen d'application, probablement très générale, au dédoublement des corps organiques chez lesquels il y aurait lieu de supposer une constitution moléculaire de même ordre que celle de l'acide paratartrique.

Tout le monde sera frappé d'ailleurs de voir, d'un côté les ferments se rapprocher de plus en plus des végétaux inférieurs, et de l'autre la dissymétrie moléculaire, exclusivement propre aux substances organiques naturelles, intervenir dans les phénomènes de la vie, comme modificateur puissant des affinités chimiques.

RECHERCHES SUR LE MODE DE NUTRITION DES MUCÉDINÉES [1]

L'Académie se rappellera peut-être qu'il y a maintenant dix-huit mois j'ai eu l'honneur de lui communiquer une expérience relative à la levûre de bière qui fixa d'une manière particulière l'attention des physiologistes. En semant une trace presque impondérable de ce champignon microscopique dans l'eau pure tenant en dissolution des principes cristallisables et pour ainsi dire inorganiques, à savoir du sucre candi, un sel d'ammoniaque et des phosphates, j'ai vu les petits globules de levûre se multiplier, empruntant leur azote au sel d'ammoniaque, leur carbone au sucre, leur matière minérale aux phosphates, et en même temps le sucre fermentait (2). La suppression de l'un quelconque des trois aliments empêchait le développement de la levûre. Plus tard j'ai étendu ces mêmes résultats à la levûre lactique (3).

L'expérience précédente mettait un terme aux discussions sur la nature organisée de la levûre de bière, que Berzelius, jusque dans ses derniers écrits, considéra toujours comme un précipité chimique de forme globuleuse. Elle donnait en outre la preuve manifeste des relations cachées qui existent entre les ferments et les végétaux supérieurs.

L'Académie sait d'ailleurs que toutes les études que j'ai eu l'honneur de lui présenter depuis quelques années concourent à établir ce principe, que ce sont des végétaux mycodermiques, les plus bas placés dans l'échelle des êtres, qui sont l'origine de toutes les fermentations proprement dites. Les résultats que je publie aujourd'hui ajouteront un nouvel appui à cette opinion. En les rapprochant de ceux que j'ai rappelés tout à l'heure, propres à la levûre de bière, ils montreront une grande analogie entre les ferments et les espèces végétales les plus inférieures, comme les plus élevées. J'ai aussi

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 12 novembre 1860, LI, p. 709-711.

2. PASTEUR. Nouveaux faits concernant l'histoire de la fermentation alcoolique. *Ibid.*, XLVII, 1858, p. 1011-1013, et p. 31-32 du présent volume.

3. PASTEUR. Nouveaux faits pour servir à l'histoire de la levûre lactique. *Ibid.*, XLVIII, 1859, p. 337-338, et p. 34-36 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

l'espérance que les physiologistes y verront une méthode nouvelle propre à l'examen rigoureux et facile de diverses questions se rattachant à la nutrition des végétaux.

Dans de l'eau distillée pure, je dissous un sel acide d'ammoniaque cristallisé, du sucre candi et des phosphates provenant de la calcination de la levûre de bière. Puis je sème dans le liquide quelques spores de *penicillium* ou d'une mucédinée quelconque. Ces spores germent facilement, et bientôt, en deux ou trois jours seulement, le liquide est rempli de flocons de mycelium, dont un grand nombre ne tardent pas à s'étaler à la surface de la liqueur, où ils fructifient. La végétation n'a rien de languissant. Par la précaution de l'emploi d'un sel acide d'ammoniaque, on empêche le développement des infusoires qui par leur présence arrêteraient bientôt les progrès de la petite plante, en absorbant l'oxygène de l'air, dont la mucédinée ne peut se passer. Tout le carbone de la plante est emprunté au sucre, son azote à l'ammoniaque, sa matière minérale aux phosphates. Il y a donc sur ce point de l'assimilation de l'azote et des phosphates une complète analogie entre les ferments, les mucédinées et les plantes d'un organisme compliqué. C'est ce que les faits suivants achèveront de prouver d'une manière décisive.

Si, dans l'expérience que je viens de rapporter, je supprime l'un quelconque des principes en dissolution, la végétation est arrêtée. Par exemple, la matière minérale est celle qui paraîtrait la moins indispensable pour des êtres de cette nature. Or si la liqueur est privée de phosphates, il n'y a plus de végétation possible, quelle que soit la proportion du sucre et des sels ammoniacaux. C'est à peine si la germination des spores commence par l'influence des phosphates que les spores elles-mêmes que l'on a semées introduisent en quantité infiniment petite. Supprime-t-on de même le sel d'ammoniaque, la plante n'éprouve aucun développement. Il n'y a qu'un commencement de germination très chétive par l'effet de la présence de la matière albuminoïde des spores semées, bien qu'il y ait surabondance d'azote libre dans l'air ambiant, ou en dissolution dans le liquide. Enfin il en est encore de même si l'on supprime le sucre, l'aliment carboné, alors même qu'il y aurait dans l'air ou dans le liquide des proportions quelconques d'acide carbonique. J'ai reconnu en effet que, sous le rapport de l'origine du carbone, les mucédinées diffèrent essentiellement des plantes phanérogames. Elles ne décomposent pas l'acide carbonique; elles ne dégagent pas d'oxygène. L'absorption de l'oxygène et le dégagement de l'acide carbonique sont au contraire des actes nécessaires et permanents de leur vie.

Quelles sont maintenant les conséquences des résultats qui précèdent? En premier lieu, ils nous donnent des idées précises sur le mode de nutrition des mucédinées, à l'égard duquel la science ne possédait que l'observation de M. Bineau rappelée par M. Boussingault dans la dernière séance de l'Académie [1]. D'autre part, et c'est là peut-être ce qu'il faut remarquer de préférence, ils nous découvrent une méthode à l'aide de laquelle la physiologie végétale pourra aborder sans peine les questions les plus délicates de la vie de ces petites plantes, de manière à préparer sûrement la voie pour l'étude des mêmes problèmes chez les végétaux supérieurs.

Lors même que l'on craindrait de ne pouvoir appliquer aux grands végétaux les résultats fournis par ces organismes d'apparence si infime, il n'y aurait pas moins un grand intérêt à résoudre les difficultés que soulève l'étude de la vie des plantes, en commençant par celles où la moindre complication d'organisation rend les conclusions plus faciles et plus sûres. La plante est réduite ici en quelque sorte à l'état cellulaire, et les progrès de la science montrent de plus en plus que l'étude des actes accomplis sous l'influence de la vie végétale ou animale, dans leurs manifestations les plus compliquées, se ramène, en dernière analyse, à la découverte des phénomènes propres à la cellule.

1. Boussingault. Observations relatives au développement des mycodermes. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 5 novembre 1860, LI, p. 671-675. (*Note de l'Édition.*)

SUR LA FERMENTATION VISQUEUSE ET LA FERMENTATION BUTYRIQUE [1]

M. Pasteur communique les résultats de ses recherches sur la fermentation visqueuse et sur la fermentation butyrique.

M. Favre, ingénieur des tabacs, avait annoncé que l'eau d'orge, de riz, de froment contenait une matière capable de transformer le sucre en une matière visqueuse sans dégagement de gaz. M. Desfosses avait annoncé plus anciennement que dans la fermentation visqueuse le sucre fournissait une quantité de matière visqueuse supérieure à son propre poids et qu'il se dégageait de l'acide carbonique et de l'hydrogène.

MM. Pelouze et Jules Gay-Lussac [2], ayant déterminé la fermentation visqueuse du jus de betterave, ont constaté dans le liquide obtenu la présence de la mannite et de l'acide lactique.

M. Pasteur est parvenu à isoler le ferment végétal produisant la fermentation visqueuse; ce ferment est constitué par des petits globules réunis en chapelet. Le diamètre de ces globules varie de $0^{mm},0012$ à $0^{mm},0014$. Lorsqu'on les sème dans un liquide sucré et contenant de l'albumine en dissolution, on obtient toujours la fermentation visqueuse. 100 de sucre fournissent approximativement 51,09 de mannite et 45,5 de gomme; de plus il se dégage de l'acide carbonique.

On a approximativement l'équation :

$$\underbrace{25\,(C^{12}H^{11}O^{11})}_{\text{Sucre.}} + 25\,HO = \underbrace{12\,(C^{12}H^{10}O^{10})}_{\text{Gomme.}} + \underbrace{12\,(C^{12}H^{14}O^{12})}_{\text{Mannite.}} + 12\,CO^2 + 12\,HO.$$

Ce qui correspond, pour 100 de sucre, à :

Mannite	51,09 pour 100.
Gomme	45,48
Acide carbonique	6,18.

Ce sont là les rapports sensiblement constatés par l'expérience lorsqu'on opère exclusivement avec le ferment constitué par les petits globules en chapelet. Lorsque les proportions de gomme sont supérieures à celles de la mannite, on s'aperçoit qu'il y a dans le liquide de plus gros globules et

1. *Bulletin de la Société chimique de Paris*, séance du 8 février 1861, p. 30-31. (*Résumé*.)

2. Gay-Lussac (J.) et Pelouze (J.). Sur l'acide lactique. *Annales de chimie et de physique*, LII, 1833, p. 410-424. (*Note de l'Édition*.)

d'une nature différente. Il serait possible que ce second ferment transformât le sucre en gomme seulement, sans qu'il y eût alors formation de mannite. M. Pasteur n'a pas réussi encore à isoler ce second ferment du premier, qui toujours s'accompagne de la formation de la mannite.

Le liquide le plus fréquemment apte à produire la fermentation visqueuse peut aussi produire la fermentation lactique ou butyrique. Mais dans ce cas, les êtres organisés qui se développent dans le liquide sont de nature différente.

L'auteur s'est assuré que les fermentations visqueuse, lactique, butyrique, etc., sont toujours coexistantes avec le développement d'êtres organisés.

L'auteur a déjà décrit antérieurement le ferment lactique.

Ces divers ferments végétaux ou ces infusoires n'ont pas besoin d'oxygène pour se developper, tandis que les *mucédinées* qui se produisent dans les liquides albumineux exigent pour leur développement le concours de l'oxygène libre comme les végétaux supérieurs.

En ce qui concerne la fermentation butyrique, M. Pasteur s'est assuré qu'elle est toujours coexistante avec le développement d'infusoires qui se multiplient. La vie de ces infusoires n'exige pas le concours de l'oxygène libre ; l'expérience prouve même que la présence de l'oxygène les prive de vie ou de mouvement. Ces infusoires qui se développent dans une atmosphère exempte d'oxygène ne vivraient-ils pas aux dépens de l'oxygène combiné ? [1]

1. Le 9 mai 1862, Pasteur rapporta à la *Société chimique de Paris* de nouvelles recherches sur la fermentation butyrique, en même temps que des résultats relatifs à la fermentation acétique. Le résumé de sa communication, paru dans le *Bulletin de la Société chimique de Paris*, a été placé au tome III des Œuvres de Pasteur, « Études sur le vinaigre et sur le vin. » (*Note de l'Édition.*)

ANIMALCULES INFUSOIRES VIVANT SANS GAZ OXYGÈNE LIBRE ET DÉTERMINANT DES FERMENTATIONS (1)

On sait combien sont variés les produits qui se forment dans la fermentation appelée *lactique*. L'acide lactique, une gomme, la mannite, l'acide butyrique, l'alcool, l'acide carbonique et l'hydrogène apparaissent simultanément ou successivement en proportions extrêmement variables et tout à fait capricieuses. J'ai été conduit peu à peu à reconnaître que le végétal-ferment qui transforme le sucre en acide lactique est différent de celui ou de ceux car il en existe deux qui déterminent la production de la matière gommeuse, et que ces derniers à leur tour n'engendrent pas d'acide lactique. D'autre part j'ai également reconnu que ces divers végétaux-ferments ne pouvaient dans aucune circonstance, s'ils étaient bien *purs*, donner naissance à l'acide butyrique.

Il devait donc y avoir un ferment butyrique propre. C'est sur ce point que j'ai arrêté depuis longtemps toute mon attention. La communication que j'ai l'honneur d'adresser aujourd'hui à l'Académie se rapporte précisément à l'origine de l'acide butyrique dans la fermentation appelée lactique.

Je n'entrerai pas ici dans tous les détails de cette recherche. Je me bornerai d'abord à énoncer l'une des conclusions de mon travail : c'est que *le ferment butyrique est un infusoire.*

J'étais bien éloigné de m'attendre à ce résultat, à tel point que pendant longtemps j'ai cru devoir appliquer mes efforts à écarter l'apparition de ces petits animaux, par la crainte où j'étais qu'ils ne se nourrissent du ferment végétal que je supposais être le ferment butyrique et que je cherchais à découvrir dans les milieux liquides que j'employais. Mais n'arrivant pas à saisir la cause de l'origine de l'acide butyrique, je finis par être frappé de la coïncidence, que mes analyses me montraient inévitable, entre cet acide et les infusoires, et inversement entre les infusoires et la production de cet acide, circonstance

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 25 février 1861, LII, p. 344-347.

que j'avais attribuée jusque-là à l'utilité ou à la convenance que l'acide butyrique offrait à la vie de ces animalcules.

Depuis lors, les essais les plus multipliés m'ont convaincu que la transformation du sucre, de la mannite et de l'acide lactique en acide butyrique est due exclusivement à ces infusoires, et qu'il faut les considérer comme le véritable ferment butyrique.

Voici leur description : Ce sont de petites baguettes cylindriques, arrondies à leurs extrémités, ordinairement droites, isolées ou réunies par chaînes de deux, de trois, de quatre articles et quelquefois même davantage. Leur largeur est de 0mm,002 en moyenne. La longueur des articles isolés varie de 0mm,002 jusqu'à 0mm,015 ou 0mm,02. Ces infusoires s'avancent en glissant. Pendant ce mouvement, leur corps reste rigide ou éprouve de légères ondulations. Ils pirouettent, se balancent ou font trembler vivement la partie antérieure et postérieure de leur corps. Les ondulations de leurs mouvements deviennent très évidentes dès que leur longueur atteint 0mm,015. Souvent ils sont recourbés à une de leurs extrémités, quelquefois à toutes deux. Cette particularité est rare au commencement de leur vie.

Ils se reproduisent par fissiparité. C'est évidemment à ce mode de génération qu'est due la disposition en chaînes d'articles qu'affecte le corps de quelques-uns. L'article qui en traîne d'autres après lui s'agite quelquefois vivement comme pour s'en détacher.

Bien que les corps de ces vibrions aient une apparence cylindrique, on les dirait souvent formés d'une suite de grains ou d'articles très courts à peine ébauchés. Ce sont sans nul doute les premiers rudiments de ces petits animaux.

On peut semer ces infusoires comme on sèmerait de la levûre de bière. Ils se multiplient si le milieu est approprié à leur nourriture. Mais ce qui est bien essentiel à remarquer, on peut les semer dans un liquide ne renfermant que du sucre, de l'ammoniaque et des phosphates, c'est-à-dire des substances cristallisables et pour ainsi dire toutes minérales, et ils se reproduisent corrélativement à la fermentation butyrique qui apparaît très manifeste. Le poids qui s'en forme est notable, bien que toujours minime, comparé à la quantité totale d'acide butyrique produit, comme cela se passe pour tous les ferments.

L'existence d'infusoires possédant le caractère des ferments est déjà un fait qui semble bien digne d'attention ; mais une particularité singulière qui l'accompagne, c'est que ces animalcules infusoires vivent et se multiplient à l'infini sans qu'il soit nécessaire de leur fournir la plus petite quantité d'air ou d'oxygène libre.

Il serait trop long de dire ici comment je me suis arrangé pour que

les milieux liquides où ces infusoires vivent et pullulent par myriades ne renferment absolument pas d'oxygène libre dans leur intérieur ou à leur surface, ce que j'ai d'ailleurs soigneusement constaté. J'ajouterai seulement que je n'ai pas voulu présenter mes résultats à l'Académie sans en avoir rendu témoins plusieurs de ses membres, qui m'ont paru reconnaître la rigueur des preuves expérimentales que j'ai mises sous leurs yeux.

Non seulement ces infusoires vivent sans air, mais l'air les tue. Que l'on fasse passer dans la liqueur où ils se multiplient un courant d'acide carbonique pur pendant un temps quelconque, leur vie et leur reproduction n'en sont aucunement affectées. Si, au contraire, dans des conditions exactement pareilles, on substitue au courant d'acide carbonique un courant d'air atmosphérique, pendant une ou deux heures seulement, tous périssent, et la fermentation butyrique liée à leur existence est aussitôt arrêtée.

Nous arrivons donc à cette double proposition :

1° *Le ferment butyrique est un infusoire.*

2° *Cet infusoire vit sans gaz oxygène libre.*

C'est, je crois, le premier exemple connu de ferments animaux, et aussi d'animaux vivant sans gaz oxygène libre.

Le rapprochement du mode de vie et des propriétés de ces animalcules avec le mode de vie et les propriétés des ferments végétaux qui vivent également sans le concours du gaz oxygène libre se présente de lui-même, aussi bien que les conséquences qu'il est permis d'en déduire, relativement à la cause des fermentations. Cependant je veux réserver les idées que ces faits nouveaux suggèrent jusqu'à ce que j'aie pu les soumettre à la lumière de l'expérience.

SUR LES PRÉTENDUS CHANGEMENTS DE FORME ET DE VÉGÉTATION DES CELLULES DE LEVURE DE BIÈRE SUIVANT LES CONDITIONS EXTÉRIEURES DE LEUR DÉVELOPPEMENT [1]

On sait que Leeuwenhoek a décrit le premier les globules de levûre de bière et que M. Cagniard de Latour a découvert leur faculté de se multiplier par leur bourgeonnement.

Cette production végétale si intéressante a été le sujet d'une foule de travaux de la part des chimistes et des botanistes. Ces derniers, depuis MM. Turpin et Kützing, ont été à peu près unanimes à regarder la levûre de bière comme une forme de développement de divers végétaux inférieurs, notamment du *penicillium glaucum*. Les études à ce sujet qui paraissent avoir eu le plus de faveur dans ces dernières années appartiennent à MM. Wagner, Bail, Berkeley, Hoffmann. Les recherches de ces habiles botanistes ont agrandi et confirmé les observations anciennes de MM. Turpin et Kützing. Tout récemment, M. Pouchet a émis les mêmes idées en les précisant encore sur certains points.

Je me suis préoccupé depuis longtemps de cette importante question qui touche de si près à la nature intime de la levûre de bière et à ces phénomènes de polymorphie des végétaux inférieurs auxquels se rattachent la plupart des travaux remarquables de M. Tulasne. Mais je suis arrivé à des résultats tout à fait négatifs, je veux dire qu'il m'a été impossible de voir la levûre de bière se transformer en une mucédinée quelconque, et réciproquement je n'ai pu arriver à faire produire aux mucédinées vulgaires la plus petite quantité de levûre de bière.

1. *Société philomathique de Paris*, séance du 30 mars 1861, p. 47-48.

SUR LES FERMENTS [1]

M. Pasteur fait une communication sur les prétendus changements de forme des cellules de levûre de bière suivant les conditions extérieures de leur développement. Dans une critique des travaux des botanistes sur ce sujet, M Pasteur indique les causes d'erreur de leurs expériences. Elles sont telles, suivant lui, qu'alors même que les conclusions auxquelles ils sont conduits seraient vraies, il faudrait en donner des preuves toutes nouvelles.

Jusqu'à ce jour M. Pasteur, qui poursuit encore ses études, n'a pu faire produire des mucédinées à la levûre de bière, ni transformer en levûre les spores des mucédinées.

M. Pasteur communique ensuite à la Société de nouvelles observations au sujet de la levûre de bière et des rapports qu'elle offre entre son mode d'accroissement et ses propriétés, selon qu'elle est mise en contact avec le gaz oxygène de l'air ou le gaz acide carbonique dès le commencement de la fermentation.

La levûre, semée dans une liqueur sucrée albumineuse entièrement privée des plus faibles quantités d'air, se multiplie, augmente de poids, et détermine la fermentation du sucre. La levûre peut donc vivre et provoquer la fermentation, bien que les liqueurs où elle a été semée ne renferment pas la moindre trace de gaz oxygène libre.

M. Pasteur a reconnu, d'autre part, que néanmoins, s'il y avait de l'air à l'origine dans les liqueurs ou à leur surface, la levûre se multipliait encore et même beaucoup mieux que dans le premier cas ; c'est-à-dire que dans le même temps, et toutes choses égales d'ailleurs, il s'en forme une plus grande quantité; mais cette levûre, pendant son développement, n'a qu'une activité très faible comme ferment, bien qu'elle agisse énergiquement sur le sucre si on la met ultérieurement en contact avec de l'eau sucrée à l'abri du gaz oxygène.

M. Pasteur a déjà réussi à enlever à la levûre son caractère de ferment dans la proportion des neuf dixièmes, mais ce qu'il importe de remarquer, c'est que dans ces circonstances particulières les globules de levûre, d'après les expériences de M. Pasteur, absorbent l'oxygène de l'air et dégagent de l'acide carbonique, vivant dès lors à la manière de toutes les petites plantes inférieures.

M. Pasteur avait déjà signalé toute l'analogie qui existe entre le mode de vie de la levûre de bière et des torulacées ou des mucédinées ordinaires,

1. *Bulletin de la Société chimique de Paris*, séance du 12 avril 1861, p. 61-63. (*Resumé.*)

en montrant que ces productions diverses pouvaient se développer dans des liqueurs qui ne renferment que du sucre, de l'ammoniaque et des phosphates. Mais la levûre de bière restait toujours séparée des végétaux inférieurs par la double propriété de pouvoir vivre sans gaz oxygène libre et d'être ferment. Les nouveaux faits qui viennent d'être énoncés établissent que la levûre de bière peut vivre à l'aide du gaz oxygène libre, et que, par son influence, elle se multiplie même avec une activité extraordinaire. Sous le rapport du développement organique, il n'y a plus de différence, dans ces conditions spéciales, entre la levûre et les plantes les plus inférieures. Or, à ce moment, la différence s'efface également au point de vue des propriétés de fermentation. Le caractère ferment tend à disparaître pour faire place aux seuls phénomènes de nutrition, ainsi que cela a lieu chez les plantes inférieures ordinaires.

Il paraît donc y avoir corrélation entre le caractère ferment et le fait de la vie sans gaz oxygène libre. Cela posé, faut-il admettre que la levûre de bière, si avide d'oxygène qu'elle se multiplie avec une énergie tout à fait inconnue jusqu'ici, dit M. Pasteur, lorsqu'on lui fournit du gaz oxygène libre, n'en utilise plus aucune trace pour son développement dès qu'on lui refuse ce gaz sous forme libre, sans le lui refuser sous forme de combinaison? N'est-il pas vraisemblable que le mode de vie de la plante est le même dans les deux cas, sauf que dans le second elle respire avec l'oxygène emprunté à la matière fermentescible? Ce serait par conséquent dans cet acte physiologique qu'il faudrait placer l'origine du caractère ferment.

Telle est la théorie nouvelle de la fermentation que M. Pasteur soumet à l'attention des physiologistes.

EXPÉRIENCES ET VUES NOUVELLES SUR LA NATURE DES FERMENTATIONS [1]

Dans les diverses communications que j'ai eu l'honneur d'adresser à l'Académie au sujet des fermentations proprement dites, encore bien que j'eusse appliqué tous mes efforts à démontrer qu'elles étaient corrélatives de la présence et de la multiplication d'êtres organisés, distincts pour chaque fermentation, je m'étais gardé de toute opinion sur la cause de ces mystérieux phénomènes. Mieux étudier qu'on ne l'avait fait les produits de ces fermentations, isoler les ferments, découvrir des preuves expérimentales de leur organisation, tel a été jusqu'ici le but de mes recherches. En ce qui concerne l'idée principale que les ferments sont organisés, si des doutes pouvaient exister encore dans l'esprit de quelques personnes, ils ont dû être levés par les résultats que j'ai eu l'honneur de faire connaître récemment à l'Académie au sujet de la fermentation butyrique [2]. J'ai annoncé, en effet, que le ferment butyrique était un animalcule infusoire, ou, si l'on ne veut pas préjuger la question de la limite des deux règnes organiques, que le ferment butyrique était un être organisé, se mouvant et se reproduisant à la manière de ceux que les naturalistes appellent des vibrions. Mais ce que je veux faire remarquer en ce moment, c'est que ce ferment butyrique porte en lui-même dans ses mouvements et dans son mode de génération la preuve évidente de son organisation.

Il y a donc, à côté de la levûre de bière, des ferments organisés. Malgré l'opposition que cette idée rencontra au début, j'ose espérer qu'on peut la regarder aujourd'hui comme acquise à la science.

Il se présente maintenant une question non moins importante à résoudre : Comment agissent les êtres organisés dans la fermentation ?

Je viens de rappeler que le ferment butyrique est un être organisé

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 17 juin 1861, LII, p. 1260-1264.

2. PASTEUR. Animalcules infusoires vivant sans gaz oxygène libre et déterminant des fermentations. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LII, 1861, p. 344-347, et p. 136-138 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

du genre vibrion. Si l'on étudie, comme je l'ai fait par des expériences directes, le mode de vie des vibrions décrits jusqu'à ce jour par les naturalistes, on reconnaît qu'ils enlèvent à l'air atmosphérique des quantités considérables de gaz oxygène et qu'ils dégagent de l'acide carbonique. Il en est exactement de même, d'après mes expériences, des mucédinées, des torulacées, des mucors. Ces petites plantes ne peuvent pas plus se passer de gaz oxygène que les animalcules infusoires. En outre, de même que les animalcules infusoires ordinaires, ces plantes n'ont pas le caractère ferment, c'est-à-dire que les phénomènes chimiques qu'elles déterminent dans leurs aliments sont de l'ordre des phénomènes de nutrition, où le poids de l'aliment assimilé correspond au poids des tissus transformés par son influence. Les choses se passent bien différemment pour le vibrion de la fermentation butyrique, car j'ai constaté que ce vibrion, d'une part, vivait sans gaz oxygène libre et, d'autre part, était ferment. Que le progrès de la science, en ce qui touche la limite des deux règnes, fasse de ce vibrion une plante ou un animal, peu importe présentement : vivre sans air et être ferment sont deux propriétés qui le séparent de tous les êtres inférieurs ordinaires des deux règnes. C'est un point essentiel qu'il faut bien comprendre.

Le rapprochement de ces faits conduit à se demander s'il n'existe pas une relation cachée entre la propriété d'être ferment et la faculté de vivre sans l'intervention de l'air atmosphérique, puisque nous voyons le caractère ferment exister chez le vibrion butyrique qui vit sans gaz oxygène, tandis que ce même caractère est absent chez les vibrions et les mucorées ordinaires, où la vie n'est pas possible en l'absence de ce gaz.

Je viens d'exposer fidèlement la suite des faits qui m'ont suggéré les expériences et les vues nouvelles dont il me reste à parler.

Dans un ballon de verre de la capacité d'un quart de litre, je place environ 100 centimètres cubes d'une eau sucrée mêlée à des matières albuminoïdes. J'étire à la lampe le col du ballon, dont l'extrémité effilée ouverte est introduite sous le mercure ; puis, je fais bouillir le liquide du ballon, de manière à chasser totalement l'air qu'il renferme et celui que dissout le liquide. Pendant le refroidissement, le mercure rentre dans le ballon. Alors, après avoir brisé par un choc au fond de la cuve à mercure la partie étirée du col, sans laisser rentrer la moindre parcelle d'air, je fais arriver dans le ballon une très petite quantité de levûre de bière fraîche. L'expérience montre que les globules semés se multiplient, quoique d'une manière pénible, et le sucre fermente. Dans ces conditions, 1 partie en poids de levûre

décompose 60, 80 et 100 parties de sucre. En conséquence, la levûre de bière peut se multiplier en l'absence absolue du gaz oxygène libre, et elle jouit alors à un haut degré du caractère ferment [1]. Cela posé, reproduisons la même expérience, cette fois en présence de beaucoup d'air, comme source d'oxygène. A cet effet, dans une cuve de verre peu profonde et d'une grande surface, je place de l'eau sucrée albumineuse en couche d'une faible épaisseur, puis j'y sème une petite quantité de levûre de bière, la cuve étant à peu près découverte et librement exposée à l'air atmosphérique. Dans le cas où l'on veut analyser les gaz et étudier l'altération de l'air, il faut opérer dans une grande fiole à fond plat, dont on ferme le col à la lampe, en l'étirant, de manière à pouvoir briser ultérieurement la pointe sous le mercure et recueillir le gaz qui s'échappe pour y déterminer le rapport des volumes de l'oxygène et de l'azote.

On observe dans les expériences ainsi conduites que la levûre se multiplie avec une activité des plus remarquables, inconnue jusqu'à présent dans la vie de cette petite plante. L'expérience dans la fiole prouve, en outre, qu'en se multipliant les globules de levûre enlèvent à l'air une quantité considérable d'oxygène. Il n'y a aucune comparaison à établir entre la rapidité du développement des cellules de levûre dans ces conditions particulières et dans les circonstances examinées en premier lieu où le gaz oxygène libre est absent. Il n'y aurait pas d'exagération à dire qu'elles se multiplient cent fois plus vite dans un cas que dans l'autre.

Il résulte de là que la levûre de bière a deux manières de vivre essentiellement distinctes. Le gaz oxygène libre peut être totalement absent, comme il peut être présent en volume quelconque. Dans le second cas, il est utilisé par la plante dont la vie est singulièrement exaltée. La petite plante vit donc alors à la façon des plantes inférieures; et, comme j'ai reconnu antérieurement que, sous le rapport de l'assimilation du carbone, des phosphates et de l'azote, la levûre de bière n'offrait pas de différences essentielles avec les mucédinées, il est bien établi que la levûre, placée dans les circonstances où elle respire le gaz oxygène libre, a un mode de vie de tout point comparable à celui des plantes et des animalcules inférieurs. Or l'expérience prouve que l'analogie va plus loin et qu'elle s'étend au caractère ferment. En

1. *Voir* PASTEUR [Nouvelles observations sur la nature de la fermentation alcoolique]. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXX, 1875, p. 452-457 ou mes « Études sur la bière », 1876, [tome V des Œuvres de Pasteur] un meilleur dispositif pour répéter cette expérience. [*Note ajoutée par Pasteur en 1879 dans son « Examen critique d'un écrit posthume de Claude Bernard sur la fermentation »*.]

effet, si l'on détermine le pouvoir fermentant de la levûre, alors qu'elle assimile du gaz oxygène libre, on trouve que ce pouvoir fermentant de la levûre a presque complètement disparu.

Je ne doute pas que je n'arrive à le supprimer entièrement ; mais ce qui est certain, c'est que je l'ai déjà rendu près de vingt fois moindre qu'il n'est dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire que, pour un développement de levûre égal à 1 partie, il n'y a que 6 à 8 parties de sucre transformé. Remarquons, en outre, que la levûre de bière qui vient de se développer au contact de l'air en absorbant du gaz oxygène, et qui, sous cette influence et par ce mode de vie spécial, perd son caractère ferment, n'a pas pour autant changé de nature. Bien au contraire : car si on la transporte dans de l'eau sucrée, à l'abri de l'air, elle y provoque aussitôt la fermentation la plus énergique. Je n'ai jamais connu de levûre alcoolique plus active, sans doute parce que tous les globules sont bourgeonnés et turgescents. Il est impossible de voir une levûre plus homogène et plus remarquable de formes, et de santé, si je puis m'exprimer ainsi (1).

En résumé, la petite plante cellulaire, appelée vulgairement levûre de bière, peut se développer sans gaz oxygène libre, et elle est ferment : double propriété qui la sépare alors de tous les êtres inférieurs ; ou bien, elle peut se développer en assimilant du gaz oxygène libre, et avec une telle activité que l'on peut dire que c'est sa vie normale, et elle perd son caractère ferment : double propriété qui la rapproche au contraire alors de tous les êtres inférieurs. Mais n'oublions pas de remarquer que si la levûre perd son caractère ferment pendant qu'elle se multiplie sous l'influence de l'oxygène de l'air, elle se constitue néanmoins dans l'état le plus propre à agir comme ferment si l'on vient à supprimer le gaz oxygène libre.

Voilà les faits dans toute leur simplicité. Maintenant quelle est leur conséquence prochaine ? Faut-il admettre que la levûre, si avide d'oxygène qu'elle l'enlève à l'air atmosphérique avec une grande activité, n'en a plus besoin et s'en passe lorsqu'on lui refuse ce gaz à l'état libre, tandis qu'on le lui présente à profusion sous forme de combinaison dans la matière fermentescible ? Là, est tout le mystère de la fermentation. Car si l'on répond à la question que je viens de poser en disant : Puisque la levûre de bière assimile le gaz oxygène avec énergie lorsqu'il est libre, cela prouve qu'elle en a besoin pour vivre, et elle doit conséquemment en prendre à la matière fermentescible si

1. Dans cet état, la levûre est très propre à se multiplier à l'abri de l'air, en présence des matières azotées et du sucre, qu'elle fait alors fermenter avec énergie. [*Note ajoutée par Pasteur en 1879.*]

on lui refuse ce gaz à l'état de liberté ; aussitôt la plante nous apparaît comme un agent de décomposition du sucre. Lors de chaque mouvement de respiration de ses cellules, il y aura des molécules de sucre dont l'équilibre sera détruit par la soustraction d'une partie de leur oxygène. Un phénomène de décomposition s'ensuivra, et de là le caractère ferment, qui, au contraire, fera défaut lorsque la plante assimilera du gaz oxygène libre.

En résumé, à côté de tous les êtres connus jusqu'à ce jour, et qui, sans exception (au moins on le croit), ne peuvent respirer et se nourrir qu'en assimilant du gaz oxygène libre, il y aurait une classe d'êtres dont la respiration serait assez active pour qu'ils puissent vivre hors de l'influence de l'air en s'emparant de l'oxygène de certaines combinaisons, d'où résulterait pour celles-ci une décomposition lente et progressive. Cette deuxième classe d'êtres organisés serait constituée par les ferments, de tout point semblables aux êtres de la première classe, vivant comme eux, assimilant à leur manière le carbone, l'azote et les phosphates, et comme eux ayant besoin d'oxygène, mais différant d'eux en ce qu'ils pourraient, à défaut de gaz oxygène libre, respirer avec du gaz oxygène enlevé à des combinaisons peu stables.

Tels sont les faits et la théorie qui paraît en être l'expression naturelle, que j'ai l'honneur de soumettre au jugement de l'Académie, avec l'espoir d'y joindre bientôt de nouvelles preuves expérimentales [1].

1. Dans des travaux récents sur la fermentation alcoolique et sur les propriétés de la levûre, je remarque une tendance à admettre que la levûre ne peut se passer de gaz oxygène libre pour vivre, surtout pour se multiplier, quoique, après une discussion contradictoire approfondie, j'aie déjà réfuté les objections qui ont été produites antérieurement sur ce point délicat de la vie de la levûre et de l'histoire de la fermentation. On paraît revenir à l'opinion que la fermentation peut se produire en dehors de la vie des cellules par la décomposition de la levûre, que le sucre pourrait même fermenter en ne faisant que traverser, pour ainsi dire, les cellules. Ces théories nous ramèneraient aux opinions de Liebig. Liebig savait fort bien que la levûre est une production cellulaire vivante, mais il ne voulait pas que la propriété qu'elle possède de provoquer la fermentation fût liée à son organisation. Entre autres arguments, il invoquait la possibilité de la fermentation de l'eau sucrée pure. « Si la fermentation, disait Liebig [Nouvelles lettres sur la chimie, traduction Gerhardt. Paris, 1852, in-16. Lettre XXVIII], était une conséquence du développement et de la multiplication des globules, ils n'exciteraient pas la fermentation dans l'eau sucrée pure, qui manque des conditions essentielles à la manifestation de l'activité vitale. Cette eau ne renferme pas la matière azotée nécessaire à la production de la partie azotée des globules. Dans ce cas les globules déterminent la fermentation, non parce qu'ils continuent de se développer, mais par suite de métamorphoses de leur partie interne azotée, qui se décompose en ammoniaque et en d'autres produits, c'est-à-dire par suite d'une décomposition chimique qui est tout l'opposé d'un acte organique. »

Dès l'année 1857 (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLV, p. 1032-1036), j'ai fait observer que Liebig se rendait un compte très inexact de ce qui se passe dans l'expérience précédente de la fermentation de l'eau sucrée pure par la levure lavée. J'ai montré que la levûre augmentait de poids, qu'elle assimilait les éléments du sucre, que l'azote de la levûre

ne passe pas à l'état de sel ammoniacal, que les globules de la levûre peuvent se multiplier et vivre à l'aide de leur propre matière azotée, à tel point qu'en provoquant l'organisation, en présence du sucre, de la partie soluble d'une certaine portion de levûre, on peut faire fermenter un poids de ce sucre qui approche du poids de sucre que peut faire fermenter une égale portion de cette levûre. Aujourd'hui j'interpréterais mieux encore ces résultats, en montrant la part que l'oxygène peut prendre dans ces phénomènes. Avec la levûre des brasseries et l'eau sucrée pure, l'oxygène n'intervient qu'au début et dans de faibles limites, et la levûre n'est pas assez jeune pour bourgeonner et se multiplier beaucoup. Dans ces conditions, la vie de la levûre consiste principalement en une vie poursuivie des globules, les plus jeunes, aux dépens de leurs propres matériaux ou des matériaux des globules plus épuisés. Dans le cas, au contraire, où l'on sème une trace de globules dans une eau sucrée tenant en solution la partie soluble de la levûre, comme dans l'une de mes expériences de 1857 que je rappelais tout à l'heure, l'oxygène dissous à l'origine dans la liqueur sucrée intervient puissamment dans l'organisation et la multiplication des nouveaux globules, dont le poids est notable, ainsi qu'on peut s'en assurer par les nombres que j'ai donnés, notamment dans mon Mémoire sur la fermentation alcoolique (*Annales de chimie et de physique*, 3e sér., LVIII, 1860, p. 323-426 [*Note ajoutée par Pasteur en 1879.*]

INFLUENCE DE L'OXYGÈNE SUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA LEVURE ET LA FERMENTATION ALCOOLIQUE [1]

M. Pasteur expose les résultats de ses recherches sur la fermentation du sucre et le développement des globules de levûre, suivant que cette fermentation s'opère à l'abri ou au contact du gaz oxygène libre. Ces expériences n'ont d'ailleurs rien de commun avec celle de Gay-Lussac sur le moût de raisin écrasé à l'abri de l'air, puis amené au contact de l'oxygène.

La levûre toute formée peut bourgeonner et se développer dans un liquide sucré et albumineux en l'absence complète d'oxygène ou d'air. Il se forme peu de levûre dans ce cas, et il disparaît comparativement une grande quantité de sucre, 60 ou 80 parties pour 1 de levûre formée. La fermentation est très lente dans ces conditions.

Si l'expérience est faite au contact de l'air et sur une grande surface, la fermentation est rapide. Pour la même quantité de sucre disparu, il se fait beaucoup plus de levûre. L'air en contact cède de l'oxygène qui est absorbé par la levûre. Celle-ci se développe énergiquement, mais son caractère de ferment tend à disparaître dans ces conditions. On trouve en effet que, pour 1 partie de levûre formée, il n'y aura que 4 à 10 parties de sucre transformé. Le rôle de ferment de cette levûre subsiste néanmoins et se montre même fort exalté si l'on vient à la faire agir sur le sucre en dehors de l'influence du gaz oxygène libre.

Il paraît dès lors naturel d'admettre que lorsque la levûre est ferment, agissant à l'abri de l'air, elle prend de l'oxygène au sucre, et que c'est là l'origine de son caractère de ferment.

M. Pasteur explique le fait d'une activité tumultueuse à l'origine des fermentations par l'influence de l'oxygène de l'air qui est en dissolution dans les liquides quand l'action commence. L'auteur a reconnu, en outre, que la levûre de bière, semée dans un liquide albumineux, tel que l'eau de levûre de bière, se multiplie encore lorsqu'il n'y a pas trace de sucre dans la liqueur, pourvu toutefois que l'oxygène de l'air soit présent en grande quantité. A l'abri de l'air et dans ces conditions, la levûre ne bourgeonne pas du tout. Les mêmes expériences peuvent être répétées avec un liquide albumineux mêlé à une dissolution de sucre non fermentescible comme le sucre de lait cristallisé ordinaire. Les résultats sont du même ordre.

La levûre formée ainsi en l'absence du sucre n'a pas changé de nature;

1. *Bulletin de la Société chimique de Paris*, séance du 28 juin 1861, p. 79-80. (*Résumé*.)

elle fait fermenter le sucre si on la fait agir sur ce corps à l'abri de l'air. Il faut remarquer toutefois que le développement de la levûre est très pénible lorsqu'elle n'a pas pour aliment une matière fermentescible.

En résumé la levûre de bière se comporte absolument comme une plante ordinaire, et l'analogie serait complète si les plantes ordinaires avaient pour l'oxygène une affinité qui leur permît de respirer à l'aide de cet élément enlevé à des composés peu stables, auquel cas, suivant M. Pasteur, on les verrait être ferments pour ces matières.

M. Pasteur annonce qu'il espère réaliser ce résultat, c'est-à-dire rencontrer des conditions dans lesquelles certaines plantes inférieures vivraient à l'abri de l'air en présence du sucre, en provoquant alors la fermentation de cette substance à la manière de la levûre de bière.

QUELQUES FAITS NOUVEAUX AU SUJET DES LEVURES ALCOOLIQUES [1]

J'appelle levûres alcooliques les productions cellulaires ou ferments organisés qui se développent dans les liquides sucrés neutres ou légèrement acides, tels que le moût de bière, le moût de raisin, les jus sucrés de la poire, de la pomme, etc. Ces productions, qui déterminent la fermentation alcoolique du sucre dissous dans ces liquides, varient assez sensiblement de volume, de forme, de structure, suivant la composition du liquide naturel ou artificiel qui leur a donné naissance. C'est une question de savoir si ces ferments sont des variétés d'une même levûre, ou bien s'il existe plusieurs levûres alcooliques distinctes spécifiquement. L'incertitude est plus grande encore, malgré les affirmations anciennes et récentes de divers auteurs, lorsqu'il faut se prononcer sur l'origine de ces productions. Les uns n'hésitent pas à dire que les spores de diverses mucédinées peuvent se transformer en levûre, et réciproquement que celle-ci peut passer à l'état de mucédinées ordinaires. D'autres, au nombre desquels, je crois, il faut placer Mitscherlich, pensent que les petits infusoires du genre *bacterium* précèdent toujours l'apparition de la levûre. Pour M. Turpin, les granulations de la farine d'orge étaient des globulins-séminules de la levûre de bière, et tous les jus des végétaux, même l'albumine de l'œuf, renfermaient des globulins punctiformes, premiers termes de toutes les levûres alcooliques. Ceci est l'une des formes de la théorie encore fort répandue de la génération spontanée de la levûre.

Je désirerais prendre date pour quelques observations nouvelles propres à éclairer certains points de ce sujet difficile dont je continue l'étude.

1. *Bulletin de la Société chimique de Paris*, séance du 13 juin 1862, p. 66-74 (12 fig.).

Existe-t-il une relation d'origine entre les bacteriums et les levûres alcooliques? — Levûres du raisin.

Si l'on abandonne à une fermentation spontanée des jus sucrés naturels ou artificiels, neutres, ou très peu acides, les bacteriums apparaissent presque constamment les premiers; puis à leur suite ou simultanément se montrent les cellules de telle ou telle levûre alcoolique. Les auteurs dont l'attention n'a pas été appelée sur l'influence des conditions d'acidité ou de neutralité des liqueurs, dans le développement de ces productions diverses, et qui n'ont eu l'occasion d'étudier la formation des levûres alcooliques que dans des cas particuliers, ont pu voir des bacteriums toujours mêlés aux cellules de levûre et précéder celle-ci, et croire dès lors à une relation d'origine entre ces êtres. De même, ceux qui, à l'exemple de M. Turpin, ont étudié des liquides naturels remplis de granulations punctiformes, ont pu croire que les levûres provenaient de ces granulations. Il y a même des auteurs qui, n'ayant observé sans doute la formation des levûres que dans des jus troubles remplis de cellules arrachées aux pulpes des fruits, ont affirmé que ces cellules parenchymateuses se transformaient en cellules de levûre.

Pour se convaincre que l'apparition des cellules de levûre n'a rien de commun avec les bacteriums, les granulations ou les cellules de la pulpe des fruits, il suffit de provoquer la formation spontanée (par là j'entends la formation des levûres sans semence ajoutée directement) des levûres dans des liquides sucrés assez acides pour qu'ils ne donnent pas naissance aux bacteriums, et d'ailleurs filtrés à limpidité parfaite. Le jus des raisins mûrs est très propre à ce genre d'essais. Son acidité naturelle s'oppose entièrement à la production des bacteriums; il convient d'ailleurs très bien à la formation spontanée des levûres. Enfin la filtration peut l'amener à un état de limpidité aussi grand que celui de l'eau distillée. Or le moût de raisin donne lieu dans ces conditions à des cellules de levûre qui n'offrent de mélange avec quoi que ce soit d'étranger à leur nature, si ce n'est dans certains cas à de petits cristaux limpides, brillants, de tartrate de chaux. Cette observation si simple et si facile à reproduire ne démontre-t-elle pas que l'on n'a pas de motifs sérieux de penser que l'apparition des levûres est liée à la présence des bacteriums? Pour moi, l'existence simultanée de ces productions dans les liquides sucrés n'est qu'une coïncidence fortuite, occasionnée par la facilité avec laquelle ces productions peuvent naître dans de tels milieux lorsqu'ils sont neutres

ou d'une acidité à peine sensible. Le jus sucré des poires, par exemple, donnera toujours des bacteriums mêlés à la levûre, mais il ne fournira que de la levûre si l'on a soin de le rendre préalablement un peu acide par l'addition de quelques millièmes d'acide tartrique.

Si l'on remarque d'ailleurs que la levûre formée dans le jus de raisin filtré ne présente pas toutes les tailles de globules depuis le point

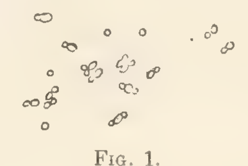


Fig. 1.

apercevable, qu'au contraire il n'y a jamais de très petits globules isolés, on acquerra bien vite la conviction que tous ces globules naissent les uns des autres, et non à même les matières en dissolution.

La fig. 1 représente une levûre alcoolique développée spontanément en vingt-quatre heures dans du moût de raisin (Pulsard-Arbois [1]) filtré à limpidité parfaite. Cette levûre est très différente d'aspect de la levûre de bière ordinaire.

Les fig. 2 et 3 représentent, dessinées à la chambre claire, cette petite levûre mêlée aux cellules de la levûre de bière ordinaire, afin de mieux indiquer leurs dissemblances.

Le moût du raisin donne ordinairement une autre levûre plus volu-

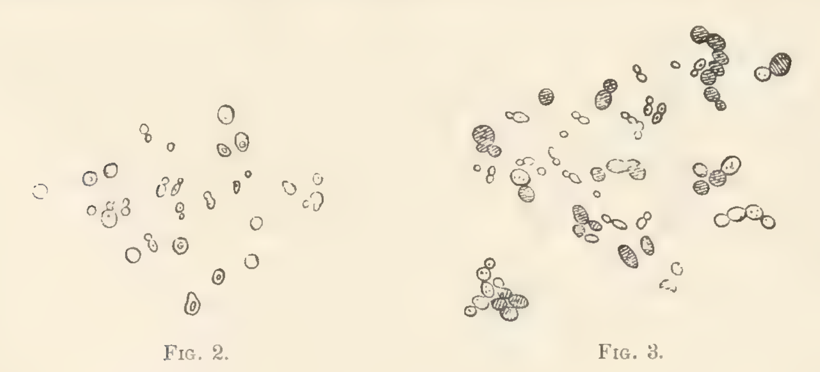


Fig. 2. Fig. 3.

mineuse, en articles plus ou moins allongés, qui est même, à proprement parler, la véritable levûre du raisin. La fig. 4 la représente mêlée à quelques rares articles de la précédente.

La fig. 5 représente de la levûre de vendange observée le 8 octobre 1861, et qui avait été amenée la veille de la vigne. On voit nettement le mélange des deux levûres.

1. Pulsard, plant spécial à la région d'Arbois. (*Note de l'Édition.*)

La fig. 6 représente la levûre du même tonneau, observée le 9 octobre. La petite espèce a presque entièrement disparu, ou mieux les premiers articles formés ne sont plus délayés qu'en si petite quan-

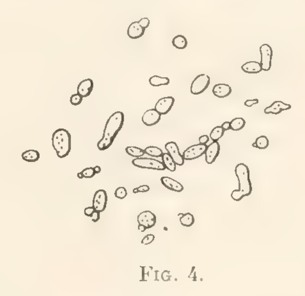


Fig. 4.

tité parmi les articles de l'autre espèce ou variété, qu'elle ne se montre dans le champ que par quelques articles.

A mesure que la fermentation de la vendange poursuit son cours, la levûre change peu à peu d'aspect ; elle perd sa structure allongée. Il faut entendre par là que les nouveaux articles qui prennent naissance sont plus globuleux, plus sphériques et aussi plus granuleux. Cet effet est dû à la soustraction de l'air. J'ai reconnu que toutes les levûres alcooliques sont plus translucides, plus allongées dans un sens, mieux

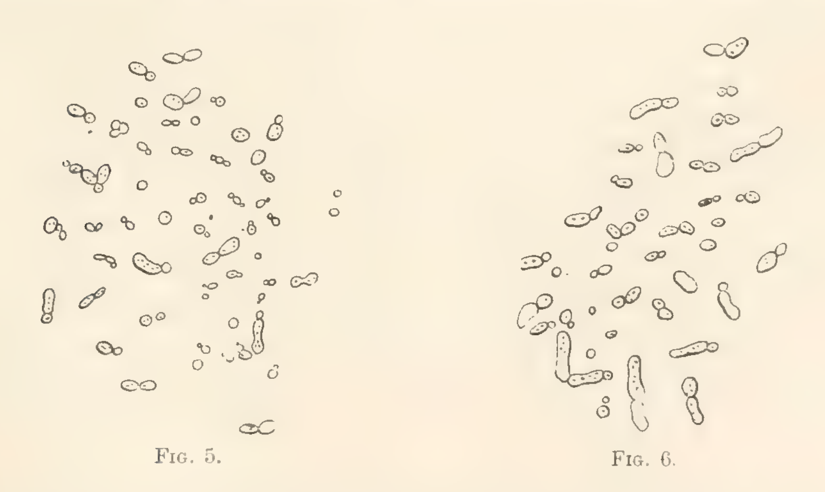


Fig. 5. Fig. 6.

portantes, si je puis ainsi dire, plus actives, lorsqu'elles se forment sous l'influence de l'air qui est en dissolution dans les liquides à l'origine de la fermentation. Voir ma Note des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 17 juin 1861, LII, p. 1260-1264. [P. 142-147 du présent volume.]

La fig. 7 nous montre la levûre du même tonneau dont je viens de parler, mais étudiée le 10 octobre. On voit qu'elle a changé déjà beau-

coup de caractère. La petite levûre de la fig. 1 paraît avoir complètement disparu. Son développement s'est arrêté, et ses premiers globules ou articles sont maintenant délayés dans une si grande quantité de cellules de l'autre qu'on n'en voit plus dans le champ. Il faudrait la rechercher avec des soins particuliers pour la retrouver dans la masse du liquide. Malheureusement, la figure rend mal ce que j'avance.

Un mot en passant sur le bourgeonnement de la levûre. Je ne sache pas que personne l'ait suivi *de visu.* Voici comment les premiers observateurs se sont assurés de l'existence réelle du mode de multiplication de la levûre par gemmation. Que l'on étudie au microscope un échantillon de globules de levûre de bière ordinaire des brasseries : les



Fig. 7.

globules sont en général isolés, disjoints et ne portent pas de bourgeons. Semons alors ces globules dans un liquide sucré albumineux et observons-les de nouveau le lendemain. On les verra couverts de bourgeons ou ayant déjà fourni des chapelets de cellules, qui seront elles-mêmes en voie de propagation par gemmation. Est-il possible dès lors de se refuser à admettre que les globules semés ont bourgeonné, que les bourgeons ont grossi, sont devenus des cellules mères qui en ont donné d'autres plus jeunes, et ainsi de suite ? Les partisans de la génération spontanée de la levûre ont cependant imaginé que tout ceci n'était qu'illusion et que les cellules nouvelles, après avoir apparu tout à fait spontanément dans le liquide sous forme de granulations très ténues, sont venues aussitôt se fixer sur les cellules plus grosses pour vivre par association. Donnons-nous donc la satisfaction de voir bourgeonner la levûre.

Le 12 octobre 1861, à 10 heures du matin, j'écrase des grains de raisin sans filtrer le jus qui s'en écoule. Puis, de temps à autre, dans la journée, j'étudie ce jus au microscope jusqu'au moment où je distingue

un couple de cellules de la petite espèce de levûre de la fig. 1. A 7 heures du soir seulement j'en découvre un que j'ai représenté fig. 8, *a*. Dès ce moment je ne quitte plus de l'œil ces cellules soudées. A 7 heures et 10 minutes je les vois séparées et un peu éloignées l'une de l'autre, fig. 8, *b*. De 7 heures à 7 heures 1/2 je vois naître et grossir peu à peu sur chacune de ces cellules un très petit bourgeon. Ces bourgeons se sont développés à très peu près au point de suture, là où la disjonction venait d'avoir lieu. A 7 heures 3/4 les bourgeons sont beaucoup plus volumineux, fig. 8, *c*. A 8 heures ils ont atteint le volume des cellules mères. A 9 heures chaque cellule de chaque couple a

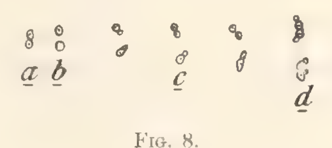


FIG. 8.

poussé un bourgeon nouveau, fig. 8, *d*. A partir de ce moment je n'ai plus suivi la multiplication des cellules. On voit qu'en deux heures 2 globules en avaient fourni 8, en y comprenant les 2 globules mères.

La levûre alcoolique de la bière est-elle identique avec les levûres alcooliques du raisin?

Je ne suis pas encore en mesure de résoudre définitivement cette question. J'ai à réunir des faits plus nombreux, mieux étudiés dans toutes leurs circonstances. Ceux dont je vais parler méritent cependant une attention sérieuse, comme indices de différences peut-être plus profondes et plus radicales qu'on ne serait porté à le croire.

J'ai semé dans du jus de raisin filtré quelques milligrammes de globules de levûre de bière très fraîche. Je m'attendais à voir ces globules de levûre se développer rapidement en déterminant une active fermentation. A côté du flacon s'en trouvait un autre identique, mais sans semence de levûre.

Le lendemain, aucun trouble dans le liquide des deux flacons; pas de fermentation; température extérieure 12°,5. Le surlendemain, le jus sans semence est tout trouble par la présence de la levûre fig. 1, et la fermentation s'annonce par des bulles microscopiques. Chose singulière, le liquide de l'autre flacon n'est pas trouble, la levûre semée ne s'est pas développée d'une manière sensible à l'œil, et il n'y a aucune trace de fermentation apparente.

J'étudie au microscope le dépôt de ce flacon, dépôt à peine appré-

ciable, et seulement près du point où est tombé le petit fragment de levûre de bière. La fig. 3 représente fidèlement l'aspect de ce dépôt. Les globules semés sont tout granuleux, paraissent tout à fait morts, très colorés en brun parce qu'ils se sont teints de la matière colorante du jus, et plusieurs sont comme vidés par un effet d'endosmose. A côté d'eux il y a des globules pareils, mais translucides ou à peine ombrés, à contours peu accusés, en voie de bourgeonnement et évidemment nés des globules semés. Il y en a très peu. Enfin on voit bon nombre d'articles de la petite levûre, fig. 1, formés spontanément comme ceux du vase voisin privé de semence, et où les cellules ont apparu plus tôt et plus nombreuses, précisément parce qu'il n'y avait pas de semence.

Celle-ci en effet s'empare de l'oxygène de l'air en dissolution et retarde ainsi l'apparition et le développement de la petite levûre spontanée.

Mais ce qui doit surprendre, c'est le développement si pénible de la levûre ensemencée. Que l'on sème au contraire de la levûre de raisin dans du moût de raisin, le développement sera facile et la fermentation très prompte à se déclarer. N'est-on pas porté à croire dès lors à l'existence de différences peut-être spécifiques entre les levûres alcooliques du raisin et de la bière ?

On gagne quelque chose pour la facilité du développement de la levûre de bière dans le jus de raisin, lorsque préalablement on étend d'eau ce liquide sucré. Les conditions d'acidité et de densité du jus, par suite d'endosmose, paraissent donc jouer un rôle dans ces phénomènes.

Les faits suivants accusent encore une différence possible entre la levûre de bière et la deuxième levûre du raisin, celle qui est représentée fig. 4, 5, 6.

Je filtre, après ébullition, du moût d'orge d'une brasserie dans lequel le houblon n'a pas encore été ajouté. Le lendemain, dans deux portions égales du liquide limpide, je sème d'une part quelques globules ou articles de la levûre du raisin, et de l'autre des globules de levûre de bière fraîche. Vingt-quatre heures après j'observe un développement considérable de la levûre du raisin avec commencement de fermentation.

La fig. 9 représente la levûre du dépôt de ce flacon, levûre toute rameuse en articles allongés, comme il arrive lorsque cette levûre se multiplie dans des liquides sucrés aérés à l'origine.

Son développement a été, pour le moins, aussi facile que si l'on avait ajouté la semence à du jus de raisin. La levûre de bière s'est également développée dans l'autre flacon, en conservant son caractère habituel ;

mais, quoique semée dans du moût d'orge, elle s'est multipliée moins rapidement que la levûre de raisin. Le dépôt est sensiblement moindre, et la fermentation n'a pas encore commencé dans ce flacon.

On voit donc que la levûre de raisin semée dans le moût d'orge,



Fig. 9. Fig. 10.

c'est-à-dire dans le liquide propre par excellence au développement de la levûre de bière, s'y multiplie très bien, mieux même que ne fait la levûre de bière, et qu'elle y conserve son aspect et sa manière d'être habituels.

La fig. 10 représente la levûre de bière du deuxième flacon. On distingue nettement les globules nouveaux des globules semés, plus granuleux, plus colorés, moins bourgeonnés.

Sur le mycoderma vini ou cervisiæ.

Je terminerai par une observation qui corrobore les vues nouvelles que j'ai fait connaître à l'*Académie des sciences* dans sa séance du 17 juin 1861[1]. On connaît la fleur du vin, le *mycoderma vini ou*



Fig. 11.

cervisiæ, plante cellulaire qui se rapproche beaucoup de la levûre de bière, et mieux encore de la levûre du raisin par sa forme et par son mode de propagation. Elle a besoin de gaz oxygène pour vivre et elle dégage de l'acide carbonique. En même temps qu'elle se multiplie,

1. PASTEUR. Expériences et vues nouvelles sur la nature des fermentations. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LII, 1861, p. 1260-1264, et p. 142-147 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

elle détermine des phénomènes de combustion souvent très énergiques en portant l'oxygène de l'air sur les substances qui se trouvent en dissolution dans le liquide à la surface duquel elle se développe [1].

J'ajoute une certaine quantité de cette plante, dont une des formes est représentée fig. 11, à une solution de sucre à l'abri de l'air. Les articles du mycoderme changent de mode de vie et de propriétés. Tout à l'heure, placés à la surface du liquide qui leur avait donné naissance, ils absorbaient l'oxygène de l'air pour le rendre à l'état d'acide carbonique; maintenant ils vivent aux dépens du sucre sans gaz oxygène libre, et, chose curieuse, ils deviennent ferment, levûre alcoolique pour ce sucre. La levûre ainsi produite se rapproche beaucoup de celle du jus de raisin, qui affecte la forme d'articles allongés.



Fig. 12.

La fig. 12 représente cette levûre de transformation des articles de *mycoderma vini*. Comme on le voit d'ailleurs par ce dessin, la plante affecte dans cette nouvelle condition où sans doute elle vit aux dépens de l'oxygène du sucre, circonstance qui la rend ferment pour ce sucre, un volume, une structure, enfin une manière d'être et des propriétés physiologiques qui la distinguent essentiellement en apparence des articles plus grêles de *mycoderma vini*. Elle se distingue encore de la levûre de bière par une plus grande durée dans la fermentation, et je crois par les proportions des substances qui prennent naissance. Ceci est un point intéressant sur lequel je reviendrai, et qu'il est nécessaire de suivre avec attention si l'on veut arriver à quelques conclusions certaines au sujet de l'identité ou de la différence des diverses levûres alcooliques.

1. Pasteur. Études sur les mycodermes. Rôle de ces plantes dans la fermentation acétique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LIV, 1862, p. 265-270. Voir tome III des Œuvres de Pasteur. (*Note de l'Édition.*)

NOUVEL EXEMPLE DE FERMENTATION DÉTERMINÉE PAR DES ANIMALCULES INFUSOIRES POUVANT VIVRE SANS GAZ OXYGÈNE LIBRE, ET EN DEHORS DE TOUT CONTACT AVEC L'AIR DE L'ATMOSPHÈRE [1]

L'Académie se rappellera peut-être qu'il y a dix-huit mois environ, j'ai eu l'honneur de lui soumettre une Note sur l'existence d'animalcules infusoires jouissant de la double faculté de pouvoir vivre sans gaz oxygène libre et d'être ferments [2]. C'était le premier exemple connu de ferments animaux, et aussi d'animaux pouvant vivre et se multiplier indéfiniment, en dehors de tout contact avec l'air de l'atmosphère, considéré à l'état gazeux ou en dissolution dans un liquide.

Les animalcules infusoires dont je parle constituent le ferment de la fermentation butyrique, fermentation que l'on avait expliquée jusque-là de la manière suivante. Toutes les fois, disait-on, que le sucre ou l'acide lactique éprouvent la transformation qui caractérise la fermentation butyrique, sous l'influence de matières plastiques azotées, ces matières, altérées plus ou moins au contact de l'air, communiquent au sucre ou à l'acide lactique un ébranlement moléculaire intestin qui leur est propre, d'où résulte la fermentation.

Je crois avoir démontré que cette théorie, qui était appliquée à tous les cas de fermentations proprement dites, est inadmissible, qu'une substance albuminoïde quelconque ne devient jamais ferment, que le véritable ferment butyrique, par exemple, est un être organisé du genre des vibrions, dont le germe est apporté par l'air, ou par les poussières de l'air répandues dans les matériaux de la fermentation.

Je viens faire connaître aujourd'hui un nouvel exemple de fermentation, la fermentation du tartrate de chaux, déterminée également par

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 9 mars 1863, LVI, p. 416-421.

2. Pasteur. Animalcules infusoires vivant sans gaz oxygène libre et déterminant des fermentations. *Ibid.*, séance du 25 février 1861, LII, p. 344-347, et p. 136-138 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

un animalcule infusoire vivant sans gaz oxygène libre, et appartenant aussi au genre vibrion, mais très différent, en apparence du moins, de l'animalcule de la fermentation butyrique.

Afin d'abréger, j'indiquerai tout de suite une expérience décisive. Je place sous l'eau du tartrate de chaux, mêlé de quelques millièmes de phosphate d'ammoniaque et de phosphates alcalins et terreux, soit artificiels, soit provenant de cendres de levûre de bière, ou de cendres d'infusoires [1].

Le vase est une fiole de verre à fond plat, dont le col effilé est soudé à un tube de verre recourbé. La fiole est remplie d'eau pure, après avoir reçu le tartrate, puis portée à l'ébullition, au moyen d'un bain de chlorure de calcium, pendant que le tube recourbé plonge par son extrémité dans un vase contenant de l'eau distillée soumise elle-même à l'ébullition. Par ce moyen tout l'air qui est en dissolution est expulsé. Je couvre alors d'une épaisse couche d'huile la surface de l'eau du vase dans lequel plonge le tube recourbé, et j'abandonne l'appareil au refroidissement pendant vingt-quatre heures. Dans ces conditions, le tartrate ne peut offrir le moindre indice de fermentation. Mais si l'on vient à semer rapidement dans la fiole une très petite quantité d'infusoires provenant d'une fermentation spontanée de tartrate de chaux, en substituant immédiatement, à la petite quantité d'eau que cet ensemencement déplace, de l'eau désaérée par ébullition, voici ce qui se passe : les infusoires semés se multiplient peu à peu dans le dépôt de tartrate, qui disparaît progressivement sans qu'il en reste la plus petite quantité, et sans que l'intérieur du vase ait à aucun moment le contact de l'air extérieur, ce qui est facile à réaliser, si l'on a eu le soin de plonger le tube recourbé dans le mercure aussitôt après l'ensemencement [2].

Le tartrate fait place à un dépôt uniquement formé de cadavres de vibrions qui ont environ un millième de millimètre de diamètre, mais dont la longueur très variable a atteint dans certains cas un vingtième de millimètre. Comme tous les vibrions, ils se reproduisent par fissiparité, et pendant toute la durée de la fermentation la plus petite quantité du dépôt en offre une foule à mouvements plus ou moins rapides et flexueux.

1. Je préfère les cendres provenant de la combustion d'êtres analogues à ceux qui doivent prendre naissance, afin d'être plus sûr de ne pas omettre quelque principe utile, connu ou inconnu. Il est peut-être bon d'ajouter aussi des traces de sulfate de chaux ou d'ammoniaque.

2. Je reviendrai sur les produits de la fermentation du tartrate et du lactate de chaux, sur la composition chimique des infusoires et sur une sorte de fibrine qui les accompagne toujours, ainsi que certaines matières colorantes.

La fermentation du tartrate de chaux, quelle qu'en soit d'ailleurs la cause intime, est donc déterminée par la présence d'un infusoire jouissant de la faculté de vivre sans gaz oxygène libre, en dehors de tout contact avec l'air atmosphérique.

Sans doute, on pourra dire qu'il y a un moment, celui de l'ensemencement, où je ne puis soustraire la liqueur au contact de l'air. Mais je vais démontrer que les précautions de plus en plus parfaites auxquelles j'avais cru nécessaire de recourir jusqu'à présent, pour éliminer le contact de l'oxygène ou de l'air, et dont je viens de donner un exemple, sont complètement inutiles et exagérées. Les observations qui suivent serviront en outre de réponse à la question de savoir comment des germes d'infusoires, qui non seulement vivent sans air, mais que l'air fait périr, car ils partagent cette propriété avec les infusoires butyriques, peuvent prendre naissance d'eux-mêmes dans des liquides qui, après tout, sont exposés à l'air, dans tous les cas de fermentations spontanées ordinaires.

Reprenons notre fiole pleine d'eau, avec le tartrate de chaux déposé et les phosphates qui y ont été ajoutés. Le tube soudé au col de la fiole est rempli d'eau lui-même et plonge dans le mercure. L'eau est de l'eau distillée aérée. Je suppose cette fois qu'on ne la fasse pas bouillir. L'expérience démontre que dans ce cas d'aération de la liqueur, et sans y rien semer, le tartrate de chaux fermente néanmoins spontanément au bout de très peu de jours, et qu'il est alors mêlé à une foule d'animalcules vivant sans gaz oxygène libre.

Comment cela peut-il avoir lieu? Rien n'est plus simple ni plus facile à concevoir. Voici, en effet, ce que l'on observe dans tous les cas. Les plus petits des infusoires, le *monas*, le *bacterium termo*..., se développent dans cette eau distillée aérée, parce qu'elle renferme en dissolution des traces d'ammoniaque, de phosphate et de tartrate de chaux, et ces petits êtres lui enlèvent intégralement, avec une rapidité incroyable, jusqu'aux dernières proportions, le gaz oxygène qu'elle renferme, en le remplaçant par un volume un peu supérieur de gaz acide carbonique. Cet effet s'accomplit dans l'espace de vingt-quatre ou trente-six heures au plus, à la température de 25 à 30°. Alors seulement apparaissent les infusoires-ferments qui n'ont pas besoin de gaz oxygène pour vivre. A cette question, par conséquent, comment peuvent prendre naissance des êtres qui vivent sans gaz oxygène, et que l'air fait périr? la réponse est naturelle. Ils naissent à la suite d'une première génération d'êtres qui détruisent en peu de temps des quantités relativement considérables de gaz oxygène et en privent absolument les liqueurs.

Je reviendrai bientôt sur ce fait très général de la succession d'êtres qui consomment de l'oxygène et d'êtres qui n'en consomment pas, *du moins à l'état libre*.

Dans le cas actuel, il nous permet de comprendre avec quelle facilité peut se produire une fermentation spontanée de tartrate de chaux, toutes les fois que l'on ne prend pas des précautions spéciales pour éloigner les germes disséminés dans l'air, ou dans les poussières que cet air dépose sur tous les objets. Il nous permet de comprendre également la fermentation du tartrate de chaux dans des liqueurs librement exposées au contact de l'air, pourvu que l'épaisseur de la couche liquide soit suffisante. On constate alors qu'à la surface se multiplient les infusoires qui consomment du gaz oxygène, tandis que dans le dépôt et au sein de la liqueur se développent ceux qui n'ont pas besoin de ce gaz pour vivre, et qui sont préservés par les premiers de son contact nuisible.

En résumé, il n'y a nul besoin de recourir à des artifices pour priver les liqueurs de gaz oxygène. Toutes les précautions que je m'étais efforcé de mettre en pratique sont complètement superflues. La soustraction du gaz oxygène se fait par la nature même des choses, avant que la fermentation commence, dans tous les cas de fermentation spontanée.

La disposition des expériences que je viens de faire connaître, et la composition des matériaux qui y concourent, méritent une mention particulière lorsque l'on envisage quelle peut être la cause première de la fermentation. J'ai rappelé que les anciennes théories jugeaient indispensable à l'accomplissement de toute fermentation le concours des substances albuminoïdes; d'autant plus indispensable qu'on les croyait être les ferments eux-mêmes. Pour moi, je rends compte, non de la nécessité, mais de l'utilité de leur emploi, en disant qu'elles apportent certains aliments du ferment, qui est un être organisé dont le germe ne peut évidemment se développer ni se reproduire s'il n'a à sa disposition de l'azote et des phosphates. Ce sont là surtout les deux sortes d'aliments que les ferments trouvent dans les substances albuminoïdes. Cette théorie est si vraie, que nous venons de reconnaître, une fois de plus, que l'on peut supprimer complètement la matière plastique azotée et la remplacer par un sel d'ammoniaque mêlé à des phosphates alcalins et terreux.

Mais il résulte en outre de la composition de la liqueur tartrique dont nous parlions tout à l'heure que, dans le cas actuel, le seul aliment carboné possible pour le ferment est l'acide tartrique, qui est le corps fermentant. On arrive dès lors à cette autre conséquence que, pour le

moins que l'animalcule emprunte à la matière fermentescible, c'est d'abord tout son carbone.

Il n'est pas douteux, abstraction faite de toute idée préconçue sur la cause de la fermentation, que, dans les conditions où nous sommes placés, il y a nutrition du ferment aux dépens de la matière fermentante, et qu'aussi longtemps que dure la vie de l'infusoire, aussi longtemps dure un transport de matière de la substance qui fermente à celle qui provoque sa transformation. L'hypothèse d'un phénomène purement catalytique ou de contact n'est donc pas plus admissible que l'opinion que je combattais tout à l'heure, et qui place exclusivement le caractère ferment dans des matières albuminoïdes mortes.

Assurément le fait de la nutrition du ferment aux dépens de la matière fermentescible n'explique pas pourquoi le vibrion est ferment. Nous savons même que le mode habituel d'action des végétaux et des animaux sur les principes immédiats dont ils se nourrissent n'est pas lié à des actes de fermentation proprement dite de ces principes. Mais ce qu'il faut bien considérer dans cette comparaison des êtres qui étaient connus antérieurement avec les êtres nouveaux dont je parle, c'est que ces animalcules-ferments offrent une particularité physiologique ignorée jusqu'à ce jour, puisqu'ils vivent et se multiplient en dehors de la présence du gaz oxygène libre.

Nous sommes donc conduits à rattacher le fait de la nutrition accompagnée de fermentation à celui de la nutrition sans consommation de gaz oxygène libre. Là certainement est le secret du mystère de toutes les fermentations proprement dites, et peut-être de bien des actes, normaux ou anormaux, de l'organisme des êtres vivants. S'il pouvait y avoir encore quelques incertitudes dans l'esprit, elles seront levées, je l'espère, par les résultats qu'il me reste à soumettre ultérieurement à l'Académie.

Dès aujourd'hui, on peut affirmer que l'on rencontre deux genres de vie parmi les êtres inférieurs, l'un qui exige la présence du gaz oxygène libre, l'autre qui s'effectue en dehors du contact de ce gaz et que le caractère ferment accompagne toujours.

Quant au nombre des êtres pouvant vivre sans air, et déterminer des actes de fermentation, je le crois considérable, qu'il s'agisse de végétaux, c'est-à-dire d'organismes qui n'ont pas de mouvement propre, ou qu'il s'agisse d'animaux, c'est-à-dire d'organismes qui ont un mouvement en apparence volontaire.

J'espère démontrer, en effet, dans une prochaine communication, que les animalcules infusoires, vivant sans gaz oxygène libre, sont les ferments de la putréfaction, quand cet acte s'effectue à l'abri de l'air,

et que ce sont aussi les ferments de la putréfaction au contact de l'air, mais alors associés à des infusoires ou à des mucors qui consomment de l'oxygène libre, et qui remplissent le double rôle d'agents de combustion pour la matière organique et d'agents préservateurs de l'action directe de l'oxygène de l'air pour les infusoires-ferments [1].

Les résultats que j'ai fait connaître s'appliquent exclusivement au tartrate de chaux ordinaire, le tartrate droit. J'aurai l'honneur de présenter ultérieurement à l'Académie l'étude de la fermentation des trois autres tartrates de chaux, le gauche, l'inactif et le paratartrique [2]. Cela me donnera l'occasion de revenir sur mes recherches cristallographiques d'autrefois, que je sais être encore très mal comprises par quelques personnes, ce qui est regrettable, car les résultats de ces recherches ont conservé rigoureusement le même degré d'exactitude, et rigoureusement aussi le même degré de généralité que mes Mémoires leur attribuent, et qui leur ont été également attribués dans les Rapports académiques de MM. Biot et de Senarmont [3].

1. Les êtres inférieurs qui peuvent vivre en dehors de toute influence du gaz oxygène libre n'ont-ils pas la faculté de pouvoir passer au genre de vie des autres et inversement? C'est une question difficile que je réserve. Je ne l'ai encore étudiée que dans un cas particulier.

2. Cette étude n'a pas paru. (*Note de l'Édition.*)

3. *Voir* les Documents I, II, III, p. 415-444 du tome Ier des Œuvres de Pasteur. (*Note de l'Édition.*)

EXAMEN DU RÔLE ATTRIBUÉ AU GAZ OXYGÈNE ATMOSPHÉRIQUE DANS LA DESTRUCTION DES MATIÈRES ANIMALES ET VÉGÉTALES APRÈS LA MORT[1]

L'observation la plus vulgaire a montré de tout temps que les matières animales et végétales, exposées après la mort au contact de l'air, ou enfouies sous la terre, disparaissent à la suite de transformations diverses.

La fermentation, la putréfaction et la combustion lente sont les trois phénomènes naturels qui concourent à l'accomplissement de ce grand fait de destruction de la matière organisée, condition nécessaire de la perpétuité de la vie à la surface du globe.

Dans mes travaux de ces dernières années, et plus particulièrement dans une communication récente[2], j'ai indiqué avec précision quelles étaient, suivant moi, les vraies causes des fermentations, et j'ai annoncé le principal résultat de recherches que je poursuis sur la putréfaction proprement dite.

Partout la vie, se manifestant chez les productions organisées les plus infimes, m'apparaît comme l'une des conditions essentielles de ces phénomènes, mais la vie avec une manière d'être inconnue jusqu'à ce jour, c'est-à-dire sans consommation d'air ou de gaz oxygène libre.

La matière morte qui fermente ou qui se putréfie ne cède donc pas, uniquement du moins, à des forces d'un ordre purement physique ou chimique. Il faut bannir de la science cet ensemble de vues préconçues qui consistaient à admettre que toute une classe de matières organiques, les matières plastiques azotées, peuvent acquérir, par l'influence hypothétique d'une oxydation directe, une force occulte, caractérisée par un mouvement intestin, prêt à se communiquer à des substances organiques prétendues peu stables.

Je vais essayer d'établir aujourd'hui expérimentalement que les combustions lentes dont les matières organiques mortes sont le siège, lorsqu'elles sont exposées au contact de l'air, ont également, dans la

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 20 avril 1863, LVI, p. 734-740.

2. *Voir* la communication précédente, faite le 9 mars 1863, à l'Académie des sciences. (*Note de l'Édition.*)

plupart des cas, une étroite liaison avec la présence des êtres les plus inférieurs. Nous arriverons ainsi à cette conséquence générale, que la vie préside au travail de la mort dans toutes ses phases, et que les trois termes, dont je parlais tout à l'heure, de ce retour perpétuel à l'air de l'atmosphère et au règne minéral des principes que les végétaux et les animaux en ont empruntés, sont des actes corrélatifs du développement et de la multiplication d'êtres organisés.

L'exposition de quelques expériences et analyses suffira pour faire comprendre à l'Académie les faits et les conséquences dont je me propose de l'entretenir.

Le 25 mai 1860, j'ai brisé en plein air, dans un jardin, la pointe effilée et fermée d'un ballon de 250 centimètres cubes, vide d'air, renfermant 80 centimètres cubes d'eau de levûre sucrée qui avait été portée à l'ébullition. Aussitôt après la rentrée de l'air, j'ai refermé la pointe du ballon à la lampe. Si l'on se rappelle l'un des procédés d'expérimentation de mon Mémoire sur les générations dites spontanées (1), on verra que cet essai est l'un de ceux que j'ai employés pour démontrer qu'il n'y a pas continuité dans l'atmosphère de la cause de ces générations. Il arrive, par exemple, très souvent, que le liquide du ballon ne donne naissance ultérieurement ni à des infusoires, ni à des mucédinées, et qu'il conserve toute sa limpidité première, bien que le ballon ait reçu, au moment de son ouverture, de l'air commun ordinaire. Tel a été précisément le cas, en ce qui concerne le ballon dont je viens de parler. Son liquide était encore intact le 5 février 1863, jour où j'ai analysé l'air qu'il renfermait. Cet air contenait :

Oxygène	18,1
Acide carbonique	1,4
Azote par différence	80,5
	100,0.

On voit donc que, dans l'espace de trois années, les matières albuminoïdes de l'eau de levûre de bière, associées à de l'eau sucrée et exposées à l'air ordinaire, mais dans des conditions où il ne s'est pas développé d'animalcules ou de mucédinées, ont absorbé 2,7 pour 100 de gaz oxygène qu'elles ont rendu en partie à l'état d'acide carbonique. L'oxydation directe, la combustion lente de ces matières organiques a donc été à peine sensible. Néanmoins, sur les trois années, le ballon avait été pendant dix-huit mois dans une étuve chauffée de 25° à 30°.

1. PASTEUR. Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées. *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., LXIV, 1862, p. 5-110 (avec 32 fig.). *Voir* p. 210-294 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

Le 22 mars 1860 j'ai rempli d'air, privé de germes par une température élevée, un ballon de 250 centimètres cubes, renfermant 60 à 80 centimètres cubes d'urine bouillie en suivant la méthode indiquée au chapitre III (fig. 10) de mon Mémoire sur les générations dites spontanées. Le liquide avait encore une parfaite limpidité au mois de janvier 1863. Sa couleur tirait un peu sur le rouge brun très clair. Une poussière cristalline, sablonneuse, formée d'acide urique, s'était déposée en très petite quantité sur les parois du ballon. Il y avait en outre quelques groupes aiguillés que j'ai reconnus être du phosphate de chaux cristallisé. L'urine était encore acide, mais cette acidité avait plutôt diminué qu'augmenté. Son odeur rappelait exactement celle de l'urine fraîche après ébullition. L'air du ballon renfermait :

Oxygène	11,4
Acide carbonique	11,5
Azote par différence	77,1
	100,0.

Ainsi, après trois années environ, il restait encore 11 à 12 pour 100 de gaz oxygène. En outre, tout l'oxygène qui a été absorbé se retrouve exactement dans l'acide carbonique produit, moins la différence toutefois qui peut résulter des coefficients de solubilité des deux gaz dans le liquide en expérience.

Quoi qu'il en soit, on voit combien est lente et difficile l'oxydation directe des matériaux de l'urine par l'air atmosphérique, lorsque cet air a été placé dans des conditions où il est impropre à provoquer le développement des êtres organisés inférieurs.

Le 17 juin 1860, j'ai rempli d'air porté à une température rouge un ballon de 250 centimètres cubes, renfermant 60 centimètres cubes de lait qui avait été tenu en ébullition deux ou trois minutes à 108°. J'ai étudié le lait de ce ballon et analysé l'air en contact le 8 février 1863. Le lait était presque neutre aux papiers réactifs, avec tendance non douteuse à l'alcalinité. Il avait la saveur du lait ordinaire, mais rappelant un peu celle du suif. Par le repos, sa matière grasse se séparait sous forme de grumeaux. Il fallait agiter le lait dans le ballon pendant quelques instants pour qu'il reprît l'aspect du lait frais. Du reste, ce lait n'était nullement caillé. L'air du ballon renfermait :

Oxygène	3,1
Acide carbonique	2,8
Azote par différence	94,1
	100,0.

Cette analyse nous montre que la matière grasse du lait a absorbé

une forte proportion d'oxygène, comme dans les expériences de de Saussure sur les huiles [1]. Mais, malgré cette oxydation directe, et réputée très facile, des matières grasses, on voit qu'il reste encore, après un intervalle de trois années environ, plusieurs centièmes de gaz oxygène dans l'air du ballon.

Si l'on répète, au contraire, toutes les expériences précédentes, dans les mêmes conditions, mais sous l'influence du développement des germes des organismes les plus inférieurs, de nature végétale ou animale, tout l'oxygène de l'air des ballons est absorbé dans l'espace de quelques jours seulement, avec dégagement simultané en proportions variables de gaz acide carbonique.

Je citerai encore deux expériences comparatives très dignes d'attention. Le 26 février dernier j'ai rempli d'air, privé de ses germes par une température rouge, un ballon de 250 centimètres cubes, renfermant 10 grammes de sciure de bois de chêne, qui avait été portée à la température de l'ébullition avec quelques centimètres cubes d'eau. Un mois après, le 27 mars, l'air du ballon renfermait :

Oxygène	16,2
Acide carbonique	2,3
Azote par différence	81,5
	100,0.

Par conséquent, dans l'espace d'un mois (à la température constante de 30°), de la sciure de bois de chêne exposée au contact de l'air n'a absorbé que quelques centimètres cubes de gaz oxygène.

Au contraire, ayant placé, le 21 février 1863, 20 grammes de sciure de bois de chêne humide dans un grand ballon de 4 litres, sans prendre aucune précaution pour éloigner les germes disséminés dans l'air ou dans la sciure, et ayant analysé l'air du ballon quatorze jours après, j'ai trouvé qu'il renfermait déjà 7,2 pour 100 d'acide carbonique, et que près de 300 centimètres cubes de gaz oxygène avaient été consommés. Cette combustion facile de la sciure de bois exposée au contact de l'air atmosphérique ordinaire a été signalée depuis longtemps par Th. de Saussure, dans des essais bien connus sur la formation du terreau [2].

D'où provient la différence considérable entre les résultats des deux expériences que je viens de rapporter? Au premier aperçu, rien ne met sur la voie. Mais si l'on examine à la loupe et au microscope la surface de la sciure de bois dans le cas où l'on n'a pris aucune

1 et 2. SAUSSURE (Th. de). Recherches chimiques sur la végétation. *Paris,* an XII, in-8° (fig.). (*Note de l'Édition.*)

précaution pour éloigner les germes des mucédinées, c'est-à-dire dans l'essai fait à la manière de de Saussure, on voit que la sciure est couverte d'un duvet léger et à peine sensible de sporanges et de myceliums de mucédinées diverses.

En résumé, si l'on étudie la combustion lente des matières organiques mortes sous l'influence seule de l'oxygène de l'air atmosphérique, on trouve que cette combustion n'est pas douteuse et qu'elle varie d'intensité et de manière d'être suivant la nature des substances organiques, à peu près comme on rencontre des métaux que l'air n'oxyde pas, tels que l'or et le platine, d'autres médiocrement oxydables, tels que le cuivre et le plomb, d'autres enfin très oxydables, tels que le potassium et le sodium.

Mais ce qui est digne de remarque, et c'est précisément le fait principal sur lequel je désire aujourd'hui appeler l'attention de l'Académie, la combustion lente des matières organiques après la mort, quoique réelle, est à peine sensible lorsque l'air est privé des germes des organismes inférieurs. Elle devient rapide, considérable, sans comparaison avec ce qu'elle est dans le premier cas, si les matières organiques peuvent se couvrir de mucédinées, de mucors, de bactéries, de monades. Ces petits êtres sont des agents de combustion dont l'énergie, variable avec leur nature spécifique, est quelquefois extraordinaire, témoin l'exemple saisissant de la combustion de l'alcool, de l'acide acétique, du sucre par les mycodermes que j'ai fait connaître il y a une année à l'Académie [1].

Les principes immédiats des corps vivants seraient, en quelque sorte, indestructibles si l'on supprimait de l'ensemble des êtres que Dieu a créés les plus petits, les plus inutiles en apparence. Et la vie deviendrait impossible, parce que le retour à l'atmosphère et au règne minéral de tout ce qui a cessé de vivre serait tout à coup suspendu [2].

Cependant, si je m'étais borné aux expériences précédentes, une objection sérieuse aurait pu m'être présentée. Dans les essais dont je viens d'entretenir l'Académie, j'ai opéré constamment sur des matières organiques non seulement mortes, mais qui avaient été en outre préalablement portées à la température de l'ébullition. Or il n'est pas douteux que les matières organiques sont profondément modifiées par une température de 100°. Il fallait donc étudier, s'il était possible, la

1. PASTEUR. Études sur les mycodermes. Rôle de ces plantes dans la fermentation acétique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LIV, 1862, p. 265-270. *Voir* tome III des Œuvres de Pasteur.

2. *Voir*, à la fin du présent volume, Document VII : Des fermentations ou du rôle de quelques êtres microscopiques dans la nature (Résumé par M. Danicourt d'une conférence faite aux « Soirées scientifiques de la Sorbonne »). *[Notes de l'Édition.]*

combustion lente des matières organiques naturelles, non chauffées préalablement, telles, en un mot, que la vie les constitue.

Par un procédé expérimental assez simple, mais dont la description allongerait outre mesure cette communication [1], j'ai réussi à exposer au contact de l'air, privé de ses germes, des liquides frais, putrescibles à un très haut degré, je veux parler du sang et de l'urine [2].

J'ai l'honneur de déposer sur le bureau de l'Académie des ballons renfermant de l'air pur et du sang veineux (ou artériel) recueilli sur un chien en bonne santé le 3 mars dernier. Ces ballons ont été exposés depuis le 3 mars dans une étuve constamment chauffée à 30°. Le sang n'a éprouvé aucun genre de putréfaction. Son odeur est celle du sang frais.

Mais ce que je veux surtout faire observer présentement, c'est le peu d'activité de la combustion lente, de l'oxydation directe des principes du sang. Si l'on analyse l'air des ballons après une exposition d'un mois à six semaines à l'étuve, on ne constate encore qu'une absorption de 2 à 3 pour 100 de gaz oxygène, qui est remplacé par un volume égal de gaz acide carbonique.

Je dépose également sur le bureau de l'Académie des ballons pareils aux précédents, mais renfermant de l'urine fraîche, naturelle, telle qu'elle existe dans la vessie. Elle est intacte. Sa coloration s'est un peu avivée, et quelques cristaux lenticulaires, probablement d'acide urique, se sont déposés. L'oxydation directe des matériaux de l'urine est également insensible. Après quarante jours, j'ai trouvé dans un des ballons :

Oxygène	19,2
Acide carbonique	0,8
Azote	80.0
	100,0.

Les conclusions auxquelles j'ai été conduit par la première série de mes expériences sont donc applicables dans tous les cas aux substances organiques, quelles que soient les conditions de leur structure.

Je ne puis passer sous silence en terminant un résultat bien curieux, qui est relatif à ces *cristaux du sang* dont on a fait le sujet de beaucoup de travaux dans ces dernières années, particulièrement en Allemagne.

Dans les circonstances dont je viens de parler, où le sang exposé

1. Je dirai seulement, afin que l'on soit bien assuré des bonnes dispositions des expériences, que M. Claude Bernard a eu l'extrême obligeance de présider lui-même à la prise du sang.

2. *Voir*, plus loin, dans la Note intitulée : Observations verbales présentées après la lecture de la Note de M. Donné (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 13 août 1866, LXIII, p. 305-308), le procédé expérimental qui servit à Pasteur. (*Note de l'Édition.*)

au contact de l'air pur ne se putréfie pas du tout, les *cristaux du sang* se forment avec une remarquable facilité. Dès les premiers jours de son exposition à l'étuve, plus lentement à la température ordinaire, le sérum se colore peu à peu en brun foncé. Au fur et à mesure que cet effet se produit, les globules du sang disparaissent, et le sérum et le caillot se remplissent de cristaux aiguillés très nets, teints en brun ou en rouge. Au bout de quelques semaines, il ne reste pas un seul globule sanguin ni dans le sérum ni dans le caillot. Chaque goutte de sérum renferme par milliers ces cristaux, et la plus petite parcelle de caillot écrasée sous la lame de verre offre de la fibrine incolore, très élastique, associée à des amas de cristaux en nombre incalculable, sans que l'on puisse nulle part découvrir la moindre trace des globules du sang.

Il sera superflu sans doute de faire remarquer que les expériences dont je viens d'entretenir l'Académie au sujet du sang et de l'urine portent un dernier coup à la doctrine des générations spontanées, aussi bien qu'à la théorie moderne des ferments.

NOTE SUR LA PRÉSENCE DE L'ACIDE ACÉTIQUE PARMI LES PRODUITS DE LA FERMENTATION ALCOOLIQUE (1)

Je lis dans le *Compte rendu* de la dernière séance de l'Académie que M. Béchamp signale, parmi les produits de la fermentation alcoolique, la présence de l'acide acétique et d'acides gras volatils (2).

Cette observation est exacte. Les liquides sucrés qui ont éprouvé ce genre de fermentation donnent, lorsqu'ils sont soumis à la distillation, un alcool très légèrement acide. En saturant par la chaux le liquide distillé, évaporant et décomposant par l'acide phosphorique, on développe l'odeur des acides de la série acétique. Je crois que ce fait est connu depuis longtemps, du moins en ce qui concerne l'acidité faible des produits de la distillation des liqueurs fermentées. Si je ne l'ai pas rappelé dans mon Mémoire sur la fermentation alcoolique, et surtout si je n'ai pas fait figurer une très petite quantité d'acides de la série acétique au nombre des produits de la fermentation du sucre, c'est que je pensais que ces acides volatils proviennent non du sucre, mais de l'altération de la levûre. D'autre part, je n'étais pas assez sûr des preuves qui motivaient cette dernière opinion pour oser les publier. C'est un point qui mérite encore d'être éclairci, et qui était parmi les nombreux *desiderata* de mes études sur la fermentation alcoolique.

Quant au reproche que m'adresse M. Béchamp, d'avoir à tort contredit l'assertion de Lavoisier sur la production de l'acide acétique dans la fermentation alcoolique, je ne puis l'accepter. Lavoisier (3), en effet, a constaté la présence de 3 parties environ d'acide acétique pour 100 de sucre dans la fermentation alcoolique ($2^{\text{liv}}\,8^{\text{onces}}$ sur $95^{\text{liv}}\,14^{\text{onces}}\,3^{\text{gros}}\,69^{\text{grains}}$ de sucre). Assurément Lavoisier ne s'est pas trompé sur la nature de l'acide qu'il a eu entre les mains, mais

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 25 mai 1863, LVI, p. 989-990.

2. Béchamp. Sur l'acide acétique et les acides gras volatils de la fermentation alcoolique. *Ibid.*, p. 969-972.

3. Lavoisier. Traité élémentaire de chimie. (2e édition), *Paris*, 1793, 2 vol. in-12. Tome Ier, p. 139-152. (*Notes de l'Édition.*)

ce qui est certain pour moi, c'est que l'acide acétique obtenu par Lavoisier était presque exclusivement, pour plus des $\frac{9}{10}$ peut-être, un acide acétique formé accidentellement dans la fermentation, soit par l'action de l'air dans des conditions particulières que nous savons aujourd'hui être déterminées par la production d'un mycoderme, soit par des levûres spéciales autres que la levûre alcoolique.

Beaucoup d'auteurs ont parlé de l'acide acétique du vin et des liquides fermentés. Mais il y a trop peu d'acides volatils à l'état normal, pour que l'on n'admette pas que ces auteurs ont eu affaire, ainsi que Lavoisier, à de l'acide acétique accidentel. Il faut une étude spéciale du genre de celle que vient de faire M. Béchamp, pour reconnaître l'acide acétique dans les produits de la distillation des liquides fermentés. Au contraire, l'acide acétique accidentel, provenant de levûres spéciales (mycoderme ou autres), est toujours en assez grande quantité pour que sa présence soit accusée facilement par son odeur, pendant une évaporation rapide et à feu nu du liquide alcoolique. L'odeur de l'acide acétique et des acides plus élevés dans la série, s'il y en a, se fait sentir vers la fin de l'évaporation, bien avant celle de l'acide succinique qui est en outre très différente, et qui provoque la toux d'une manière irrésistible. Rien de pareil ne se présente avec les liquides fermentés qui n'ont éprouvé que l'action des levûres alcooliques pures. L'évaporation la plus ménagée ne permet pas alors de reconnaître par l'odorat la présence des acides volatils, bien que néanmoins la vapeur ait toujours une réaction très faiblement acide aux papiers réactifs, ce qui, je le répète, était généralement connu.

NOTE [1]
RELATIVE A UNE COMMUNICATION DE M. BÉCHAMP [2]

La première Note de M. Béchamp [3] relative à la présence de l'acide acétique parmi les produits de la fermentation alcoolique soulevait deux objections très sérieuses. Il n'est plus possible aujourd'hui de ne pas tenir compte, dans toutes les recherches sur cette fermentation, des nombreuses levûres filiformes qui accompagnent très souvent la

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 15 juin 1863, LVI, p. 1109-1110.
2. Béchamp. Note sur l'acide acétique de la fermentation alcoolique. *Ibid.*, séance du 8 juin 1863, LVI, p. 1086-1088.
3. Béchamp. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LVI, p. 969-972. (*Notes de l'Édition.*)

levûre de bière dans son action sur le sucre. Ce sont ces levûres qui donnent lieu à la plupart des maladies des vins, qui provoquent la formation de l'acide lactique et des divers actes de la série acétique que l'on observe fréquemment dans les liquides fermentés. Or, M. Béchamp ne s'est nullement préoccupé de la présence possible de ces levûres. Sa Note ne fait aucune mention d'observations microscopiques de la levûre de bière qu'il a employée, soit avant, soit après les opérations.

En confirmant l'exactitude de son observation, j'ai donc rendu à M. Béchamp le grand service d'éloigner l'objection que je viens de développer et qui se présentait immédiatement à l'esprit d'un lecteur attentif.

En second lieu, la première Note de M. Béchamp laissait supposer que les acides volatils dont il parle proviennent du sucre. Cela est possible, mais rien ne le démontre dans la Note de M. Béchamp. Je le répète, c'est un point essentiel qui reste à éclaircir.

M. Béchamp cite des passages de mon Mémoire (1) établissant, ce qui est très vrai, que je croyais que le sucre ne fournit pas du tout d'acide acétique dans la fermentation alcoolique. Je dis le sucre, car M. Béchamp aurait dû remarquer que ces passages sont extraits de la première partie de mon travail, intitulée : *Ce que devient le sucre dans la fermentation alcoolique*. Tous les paragraphes de cette première partie s'appliquent à cet objet spécial. Or, M. Béchamp, à l'heure qu'il est, n'est pas du tout autorisé à affirmer que mes assertions sont erronées et que Lavoisier avait bien vu.

En résumé, je crois qu'il n'est plus permis de s'occuper des fermentations sans apporter dans ce sujet un peu plus de rigueur que par le passé. En agissant autrement, on continuerait de rassembler des faits isolés, sans signification bien nette, n'ayant aucune place déterminée, et qui donnent lieu à toutes sortes de vues préconçues, ou d'hypothèses plus ou moins erronées. Je ne parle pas ici de cette rigueur absolue vers laquelle nous marchons toujours sans jamais l'atteindre, mais de cette rigueur relative qui est exigée et indiquée par l'état de la science sur le sujet dont on s'occupe. J'ai déjà consacré et je consacrerai encore tant de temps à la révision des travaux anciens sur les fermentations, que je me crois autorisé à donner ce conseil.

Quant aux travaux sur cette matière, je les appelle de tous mes vœux. Il y a longtemps que j'ai senti qu'elle forme un fardeau trop lourd pour être porté par moi seul.

1. *Voir* Pasteur. Mémoire sur la fermentation alcoolique, p. 51-126 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

RECHERCHES SUR LA PUTRÉFACTION [1]

Toutes les fois que les matières animales ou végétales s'altèrent spontanément en développant des gaz fétides, on dit qu'il y a putréfaction. Nous verrons dans le cours de ce travail que cette définition a deux défauts opposés : elle est trop générale, parce qu'elle rapproche des phénomènes essentiellement distincts; elle est trop restreinte, parce qu'elle en éloigne d'autres qui ont même nature et même origine.

L'intérêt et l'utilité qu'offrirait une étude exacte de la putréfaction n'ont jamais été méconnus. Depuis longtemps on a espéré en déduire des conséquences pratiques pour la connaissance des maladies, particulièrement de celles que les anciens médecins appelaient *maladies putrides*. Telle est la pensée qui guidait le célèbre médecin anglais Pringle, lorsqu'il se livrait, au milieu du siècle dernier, à des expériences sur les matières septiques et antiseptiques, afin d'éclairer les observations qu'il avait faites sur les maladies des armées [2]. Malheureusement, le dégoût inhérent à ce genre de travaux, joint à leur complication évidente, a arrêté jusqu'ici la plupart des expérimentateurs, et, au demeurant, presque tout est à faire sur ce sujet.

Mes recherches sur les fermentations m'ont conduit naturellement vers cette étude, à laquelle j'ai résolu de me livrer, sans trop de préoccupation du danger ou de la répugnance qu'elle inspire.

Si j'avais besoin d'être encouragé à suivre ces recherches, je me reporterais à ces paroles que Lavoisier prononçait devant l'Académie dans une circonstance semblable : « L'utilité publique et l'intérêt de l'humanité ennoblissent le travail le plus rebutant, et ne laissent voir aux hommes éclairés que le zèle avec lequel il a fallu surmonter le dégoût et les obstacles. »

Les résultats que j'ai l'honneur de présenter aujourd'hui à l'Aca-

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 29 juin 1863, LVI, p. 1189-1194.

2. PRINGLE (J.). Observations on the diseases of the army in camp and garrison. *London*, 1752, in-8°. (*Note de l'Édition.*)

démie se rapportent exclusivement à la cause des phénomènes. C'était là le point à élucider tout d'abord, et je crois y être parvenu. Cependant, c'est un si vaste sujet, que je me persuade que j'aurai peut-être à ajouter beaucoup par la suite à mes premiers aperçus. Je réclame donc toute l'indulgence de l'Académie.

La conséquence la plus générale de mes expériences est fort simple, c'est que la putréfaction est déterminée par des ferments organisés du genre vibrion.

Ehrenberg a décrit six espèces de vibrions, auxquels il a donné les noms suivants :

1. *Vibrio lineola.*
2. *Vibrio tremulans.*
3. *Vibrio subtilis.*
4. *Vibrio rugula.*
5. *Vibrio prolifer.*
6. *Vibrio bacillus* (1).

Ces six espèces, déjà en partie reconnues par les premiers micrographes des derniers siècles, ont été vues depuis par tous ceux qui se sont occupés des infusoires. Je réserve, en ce qui me concerne, la question de l'identité ou de la différence de ces espèces, de leurs variétés de formes subordonnées aux changements des conditions du milieu où elles vivent. Je les accepte provisoirement telles qu'elles ont été décrites. Quoi qu'il en soit, j'arrive à ce résultat, que ces six espèces de vibrions sont six espèces de ferments animaux, et que ce sont les ferments de la putréfaction. En outre, j'ai reconnu que tous ces vibrions peuvent vivre sans gaz oxygène libre, et qu'ils périssent au contact de ce gaz, si rien ne les préserve de son action directe.

Le fait que j'ai annoncé à l'Académie pour la première fois il y a deux années, et dont j'ai indiqué tout récemment un second exemple, à savoir, qu'il existait des animalcules-ferments du genre vibrion pouvant vivre sans gaz oxygène libre, n'était donc qu'un cas particulier se rattachant au mode de fermentation qui est peut-être le plus répandu dans la nature (2).

Les conditions dans lesquelles se manifeste la putréfaction peuvent varier beaucoup. Supposons, en premier lieu, qu'il s'agisse d'un liquide, c'est-à-dire d'une matière putrescible dont toutes les parties ont été exposées au contact de l'air. De deux choses l'une : ce liquide aéré sera renfermé dans un vase à l'abri de l'air, ou il sera placé dans

1. Ehrenberg (Chr.-G.). Die Infusionsthierchen als vollkommene Organismen. *Leipzig*, 1838, fol. (64 col. Taf.). *Vibrio* : p. 77-83 et fig. iv-ix, Tab. V.

2. Pasteur. Animalcules infusoires vivant sans gaz oxygène libre et déterminant des fermentations. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LII, 1861, p. 344-347. — Nouvel exemple de fermentation déterminée par des animalcules infusoires pouvant vivre sans gaz oxygène libre, et en dehors de tout contact avec l'air de l'atmosphère. *Ibid.*, LVI, 1863, p. 416-421. *Voir* p. 136-138 et p. 159-164 du présent volume. *Notes de l'Édition.*

un vase non bouché, à ouverture plus ou moins large. J'examinerai successivement ce qui se passe dans ces deux cas.

Il est de connaissance vulgaire que la putréfaction met un certain temps à se déclarer, temps variable suivant les circonstances de température, de neutralité, d'acidité ou d'alcalinité du liquide. Dans les circonstances les plus favorables, il faut au minimum environ vingt-quatre heures pour que le phénomène commence à être accusé par des signes extérieurs. Pendant cette première période, un mouvement intestin s'effectue dans le liquide, mouvement dont l'effet est de soustraire entièrement l'oxygène de l'air qui est en dissolution, et de le remplacer par du gaz acide carbonique. La disparition totale du gaz oxygène, lorsque le milieu est neutre ou légèrement alcalin, est due en général au développement des plus petits des infusoires, notamment le *monas crepusculum* et le *bacterium termo*. Un très léger trouble se manifeste, parce que ces petits êtres voyagent dans toutes les directions. Lorsque ce premier effet de soustraction de l'oxygène en dissolution est accompli, ils périssent et tombent à la longue au fond du vase, comme ferait un précipité ; et si, par hasard, le liquide ne renferme pas de germes féconds des ferments dont je vais parler, il reste indéfiniment dans cet état sans se putréfier, sans fermenter d'aucune façon. Ce cas est rare, mais j'en ai rencontré cependant plusieurs exemples. Le plus souvent, lorsque l'oxygène qui était en dissolution dans le liquide a disparu, les vibrions-ferments qui n'ont pas besoin de ce gaz pour vivre commencent à se montrer, et la putréfaction se déclare aussitôt. Elle s'accélère peu à peu, en suivant la marche progressive du développement des vibrions. Quant à la putridité, elle devient si intense que l'examen au microscope d'une seule goutte du liquide est chose très pénible, pour peu que cet examen dure quelques minutes. Mais je me hâte de faire remarquer que la fétidité de la liqueur et des gaz dépend surtout de la proportion de soufre qui entre dans la matière en putréfaction. L'odeur est peu sensible si la substance n'est pas sulfurée. Tel est, par exemple, le cas de la fermentation des matières albuminoïdes que l'eau peut enlever à la levûre de bière. Tel est aussi le cas de la fermentation butyrique ; car, d'après les résultats mêmes que j'expose, rapprochés de mes études antérieures [1], la fermentation butyrique est, par la nature de son ferment, un phénomène exactement du même ordre que la putréfaction proprement dite. Voilà pourquoi la manière dont on envisage la putréfaction est en quelque chose trop restreinte.

1. *Loc. cit.* (*Note de l'Édition.*)

Il résulte de ce qui précède que le contact de l'air n'est aucunement nécessaire au développement de la putréfaction. Bien au contraire, si l'oxygène dissous dans un liquide putrescible n'était pas tout d'abord soustrait par l'action d'êtres spéciaux, la putréfaction n'aurait pas lieu. L'oxygène ferait périr les vibrions qui tenteraient de se développer à l'origine.

Je vais examiner maintenant le cas de la putréfaction au libre contact de l'air. Ce que je viens de dire pourrait faire croire qu'elle ne saurait s'y établir, puisque le gaz oxygène fait périr les vibrions qui la provoquent. Il n'en est rien, et je vais même démontrer, ce qui est d'accord avec les faits, que la putréfaction au contact de l'air est un phénomène toujours plus complet, plus achevé qu'à l'abri de l'air.

Reprenons notre liquide aéré, cette fois exposé au contact de l'air, par exemple dans un vase largement ouvert. L'effet dont j'ai parlé tout à l'heure, à savoir, la soustraction du gaz oxygène dissous, se produit comme dans le premier cas. La seule différence consiste en ce que les bacteriums, etc..., ne périssent, après la soustraction de l'oxygène, que dans la masse du liquide, en continuant de se propager, au contraire, à l'infini à la surface, parce que celle-ci est en contact avec l'air. Ils y provoquent la formation d'une mince pellicule qui va s'épaississant peu à peu, puis tombe en lambeaux au fond du vase, pour se reformer, tomber encore, et ainsi de suite. Cette pellicule, à laquelle s'associent d'ordinaire divers mucors et des mucédinées, empêche la dissolution du gaz oxygène dans le liquide, et permet par conséquent le développement des vibrions-ferments. Pour ces derniers, le vase est comme fermé à l'introduction de l'air. Ils peuvent même alors se multiplier dans la pellicule de la surface, parce qu'ils s'y trouvent protégés par les bacteriums et les mucors contre une action trop directe de l'air atmosphérique [1].

Le liquide putrescible devient alors le siège de deux genres d'actions chimiques fort distinctes qui sont en rapport avec les fonctions physiologiques des deux sortes d'êtres qui s'y nourrissent. Les vibrions, d'une part, vivant sans la coopération du gaz oxygène de l'air,

1. Je réserve toujours néanmoins, ainsi que je l'ai fait antérieurement, la question de savoir si les ferments, notamment les vibrions, ne deviennent pas *aérobies* dans certaines circonstances, d'*anaérobies* qu'ils sont lorsqu'ils agissent comme ferments. Je propose avec toute sorte de scrupules ces mots nouveaux *aérobies* et *anaérobies*, pour indiquer l'existence de deux classes d'êtres inférieurs, les uns incapables de vivre en dehors de la présence du gaz oxygène libre, les autres pouvant se multiplier à l'infini en dehors du contact de ce gaz.

La classe nouvelle des anaérobies pourrait être appelée la classe des *zymiques* (ζύμη, levain, ferment), c'est-à-dire des ferments. Les aérobies constitueraient par opposition la classe des *azymiques*

déterminent dans l'intérieur du liquide des actes de fermentation, c'est-à-dire qu'ils transforment les matières azotées en produits plus simples, mais encore complexes. Les bacteriums ou les mucors... , d'autre part, comburent ces mêmes produits et les ramènent à l'état des plus simples combinaisons binaires, l'eau, l'ammoniaque et l'acide carbonique.

Il y a encore à distinguer le cas très remarquable où le liquide putrescible est en couche de peu d'épaisseur, avec accès facile de l'air atmosphérique. Je démontrerai expérimentalement que la fermentation et la putréfaction peuvent être alors absolument empêchées et que la matière organique peut céder uniquement à des phénomènes de combustion.

Tels sont les résultats de la putréfaction s'effectuant au libre contact de l'atmosphère. Au contraire, dans le cas de la putréfaction à l'abri de l'air, les produits de dédoublement de la matière putrescible restent inaltérés. C'est ce que j'exprimais tout à l'heure en disant que la putréfaction au contact de l'air est un phénomène, sinon toujours plus rapide, du moins plus achevé, plus destructeur de la matière organique que la putréfaction à l'abri de l'air. Afin d'être mieux compris, je citerai quelques exemples. Faisons putréfier, j'emploie ce mot à dessein, dans cette circonstance, comme synonyme de fermenter, faisons putréfier du lactate de chaux à l'abri de l'air. Les vibrions-ferments transformeront le lactate en divers produits au nombre desquels figure toujours le butyrate de chaux. Cette combinaison nouvelle, indécomposable par le vibrion qui en a provoqué la formation, restera indéfiniment dans la liqueur sans altération quelconque. Mais répétons l'opération au contact de l'air. Au fur et à mesure que les vibrions-ferments agissent dans l'intérieur du liquide, la pellicule de la surface brûle peu à peu et complètement le butyrate. Si la fermentation est très active, le phénomène de combustion de la surface s'arrête, mais uniquement parce que l'acide carbonique qui se dégage empêche l'arrivée de l'air atmosphérique. Le phénomène recommence dès que la fermentation est achevée ou ralentie. C'est ainsi également que, si l'on fait fermenter un liquide sucré naturel à l'abri de l'air, le liquide se charge d'alcool tout à fait indestructible, tandis que, si l'on opère au contact de l'air, l'alcool, après s'être acétifié, se brûle et se transforme entièrement en eau et en acide carbonique ; puis les vibrions apparaissent, et à leur suite la putréfaction lorsque le liquide ne renferme plus que de l'eau et des matières azotées. Enfin à leur tour les vibrions et les produits de la putréfaction sont brûlés par des bacteriums ou des mucors dont les derniers survivants provoquent la combustion de ceux

qui les ont précédés, et ainsi se trouve accompli le retour intégral à l'atmosphère et au règne minéral de la matière organisée.

Considérons à présent la putréfaction des substances solides.

J'ai prouvé récemment que le corps des animaux est fermé, dans les cas ordinaires, à l'introduction des germes des êtres inférieurs; par conséquent, la putréfaction s'établira d'abord à la surface, puis elle gagnera peu à peu l'intérieur de la masse solide.

En ce qui concerne un animal entier abandonné après la mort, soit au contact, soit à l'abri de l'air, toute la surface de son corps est couverte des poussières que l'air charrie, c'est-à-dire de germes d'organismes inférieurs. Son canal intestinal, là surtout où se forment les matières fécales, est rempli, non plus seulement de germes, mais de vibrions tout développés que Leeuwenhoek avait déjà aperçus. Ces vibrions ont une grande avance sur les germes de la surface du corps. Ils sont à l'état d'individus adultes, privés d'air, baignés de liquides, en voie de multiplication et de fonctionnement. C'est par eux que commencera la putréfaction du corps, qui n'a été préservé jusque-là que par la vie et la nutrition des organes.

Telle est, dans les divers cas, la marche de la putréfaction. L'ensemble des faits que j'ai énumérés sera présenté dans les Mémoires que je publierai ultérieurement avec toutes les preuves expérimentales qu'ils comportent, mais ces faits pourraient être mal compris ou mal interprétés, si je n'ajoutais quelques développements que l'Académie excusera sans doute.

Considérons, pour fixer les idées, une masse volumineuse de chair musculaire : qu'arrivera-t-il si l'on empêche la putréfaction extérieure? La viande conservera-t-elle son état, sa structure et ses qualités des premières heures? On ne saurait espérer un pareil résultat. En effet, il est impossible aux températures ordinaires de soustraire l'intérieur de cette chair à la réaction des solides et des liquides les uns sur les autres. Il y aura toujours et forcément des actions dites de contact, *des actions de diastases* (que l'on me permette cette expression), qui développent dans l'intérieur du morceau de viande de petites quantités de substances nouvelles, lesquelles ajouteront à la saveur de la viande leur saveur propre. Bien des moyens peuvent s'opposer à la putréfaction des couches superficielles. Il suffit, par exemple, d'envelopper la viande d'un linge imbibé d'alcool et de la placer ensuite dans un vase fermé (avec ou sans air, peu importe), pour que l'évaporation des vapeurs d'alcool ne puisse avoir lieu. Il n'y aura pas de putréfaction, soit à l'intérieur parce que les germes des vibrions sont absents, soit à l'extérieur parce que les vapeurs d'alcool s'opposent au dévelop-

pement des germes de la surface; mais j'ai constaté que la viande se faisande d'une manière prononcée si elle est en petite quantité, et qu'elle se gangrène si elle est en masses plus considérables.

A mon avis, et c'est ici un des exemples où pèche par trop d'étendue la définition ordinaire de la putréfaction, il n'y a aucune similitude de nature ni d'origine entre la putréfaction et la gangrène.

Loin d'être la putréfaction proprement dite, la gangrène me paraît être l'état d'un organe ou d'une partie d'organe conservé, malgré la mort, à l'abri de la putréfaction, et dont les liquides et les solides réagissent chimiquement et physiquement en dehors des actes normaux de la nutrition (1).

1. La mort, en d'autres termes, ne supprime pas la réaction des liquides et des solides dans l'organisme. Une sorte de vie physique et chimique, si je puis ainsi parler, continue d'agir. J'oserais dire que la gangrène est un phénomène de même ordre que celui que nous offre un fruit qui mûrit en dehors de l'arbre qui l'a porté.

REMARQUES [1]
[SUR UNE CLASSE DE PHÉNOMÈNES DE DÉCOMPOSITION S'EFFECTUANT AVEC DÉGAGEMENT DE CHALEUR]

A l'occasion des remarques précédentes de M. H. Sainte-Claire Deville [2], M. Pasteur croit devoir appeler l'attention de l'Académie sur une classe de phénomènes de décomposition s'effectuant avec dégagement de chaleur. Ce sont les phénomènes des fermentations proprement dites. Les décompositions de cette nature offrent, sous ce rapport, une certaine analogie avec les corps explosifs, et néanmoins l'un des caractères remarquables des décompositions par fermentation est celui de leur durée prolongée.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 24 octobre 1864, LIX, p. 689.
2. Sainte-Claire Deville. Remarques [à propos des « Recherches sur les changements de température produits par le mélange des liquides de nature différente » par MM. Bussy et Buignet]. *Ibid.*, p. 688-689. (*Note de l'Édition.*)

ETUDES SUR LE VINAIGRE

FERMENTATION ACÉTIQUE

Pasteur fit à l'Académie des sciences, le 10 février 1862, une communication, intitulée : « Études sur les mycodermes. Rôle de ces plantes dans la fermentation acétique ». Le 7 juillet 1862, il fit une nouvelle communication intitulée : « Suite à une précédente communication sur les mycodermes. Nouveau procédé industriel de fabrication du vinaigre ». En 1864, paraissait dans les *Annales scientifiques de l'Ecole normale supérieure* son Mémoire sur la fermentation acétique. Ces travaux ont été placés dans le tome III des Œuvres de Pasteur : « Études sur le vinaigre et sur le vin ». (*Note de l'Édition*.

ÉTUDES SUR LE VIN

Pasteur fit le 7 décembre 1863 et le 18 janvier 1864 deux communications à l'Académie des sciences, intitulées : *Etudes sur les vins*. La première traite de l'influence de l'oxygène de l'air sur la vinification. La seconde, des maladies des vins.

Le 1er mai et le 14 août 1865, Pasteur fit à l'Académie des sciences deux nouvelles communications. Elles traitent d'un procédé pratique de conservation et d'amélioration des vins.

Ces communications et les autres sur le vin ont été placées dans le tome III des Œuvres de Pasteur : « Études sur le vinaigre et sur le vin ». (*Note de l'Édition.*)

II

GÉNÉRATIONS DITES SPONTANÉES

(1860-1866)

EXPÉRIENCES RELATIVES AUX GÉNÉRATIONS DITES SPONTANÉES [1]

Les recherches dont j'ai l'honneur de communiquer les résultats à l'Académie ne s'appliquent encore qu'à une seule liqueur, mais des plus altérables. Elles ont paru si démonstratives aux personnes très compétentes qui ont bien voulu les examiner, que j'ai cru pouvoir prendre date en les soumettant dès à présent au jugement de l'Académie.

Dans la première partie de mon travail, je m'attache à l'étude microscopique de l'air. Au moyen d'un aspirateur à eau continu, je fais passer de l'air extérieur dans un tube où se trouve une petite bourre de coton-poudre, de la modification de ce coton qui est soluble dans le mélange d'alcool et d'éther. Le coton arrête une partie des corpuscules solides que l'air renferme. En le dissolvant dans un petit tube avec le mélange alcoolique éthéré et laissant reposer vingt-quatre heures, toutes les poussières se rassemblent au fond du tube où il est facile de les laver par décantation, sans aucune perte, si l'on a soin de séparer chaque lavage par un repos de douze à vingt heures. On fait alors tomber les poussières dans un verre de montre où le restant du liquide s'évapore promptement. Il est facile d'examiner au microscope les poussières ainsi recueillies et de les soumettre à divers réactifs. Cette méthode permet d'isoler les poussières de l'air tous les jours, à toutes les époques de l'année. Je me propose de l'appliquer à l'examen des poussières de l'air de plusieurs localités, et comparativement à des hauteurs diverses.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 6 février 1860, L, p. 303-307.

Cette communication, les quatre suivantes (p. 192-209) et celle du 12 novembre 1860 (p. 131-133 du présent volume) renferment les principaux résultats des recherches exposées dans le « Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées » (p. 210-294 du présent volume).

Voir, à la fin du présent volume, Document III, la lettre de Pasteur à Pouchet, au sujet des générations dites spontanées, antérieure d'une année à cette première communication faite à l'Académie des sciences. (*Note de l'Édition.*)

On reconnaît de cette manière qu'il y a constamment dans l'air commun, en quantités variables, des corpuscules dont la forme et la structure annoncent qu'ils sont organisés. Ce sont des corpuscules analogues à ceux que divers micrographes ont signalés dans la poussière déposée à la surface des objets extérieurs. Il est très vrai, ainsi que M. Pouchet l'a reconnu pour la poussière ordinaire, que parmi ces corpuscules il y a des granules d'amidon, mais il y en a comparativement un très petit nombre. Il est bien facile de le prouver, en délayant dans une goutte d'acide sulfurique concentré la poussière de l'air recueillie comme je l'ai indiqué tout à l'heure. Les granules d'amidon se dissolvent en quelques instants, et la plupart des autres corpuscules ne sont nullement altérés dans leurs formes et leurs volumes. Beaucoup même résistent plusieurs jours à l'action de l'acide sulfurique concentré. Ceux-ci sont probablement les spores des mucédinées, car j'ai constaté la même résistance sur des spores qui s'étaient développées dans les conditions ordinaires.

Il y a donc dans l'air, à toutes les époques de l'année, des corpuscules organisés. Sont-ce des germes féconds de productions végétales ou d'infusoires? Voilà bien la question à résoudre.

J'ai eu recours à trois méthodes distinctes. La première, qui nécessite l'emploi de la cuve à mercure, laisse des doutes dans l'esprit. Les expériences *à blanc* réussissent quelquefois. Cependant elle est assez instructive et rend compte de beaucoup d'expériences mal interprétées jusqu'à ce jour. Je l'exposerai dans mon Mémoire avec tous les détails convenables. Je ne m'y arrêterai pas ici.

La deuxième méthode paraît inattaquable et tout à fait démonstrative. Dans un ballon de 300 centimètres cubes environ, j'introduis 100 à 150 centimètres cubes d'une eau sucrée albumineuse, formée dans les proportions suivantes :

Eau	100
Sucre	10
Matières albuminoïdes et minérales provenant de la levûre de bière	0,2 à 0 7.

Le col effilé du ballon communique avec un tube de platine chauffé au rouge. On fait bouillir le liquide pendant deux à trois minutes, puis on le laisse refroidir complètement. Il se remplit d'air brûlé à la pression ordinaire. Puis on ferme à la lampe le col du ballon.

Le ballon, placé dans une étuve à une température constante de 28 à 32°, peut y demeurer indéfiniment sans que son liquide éprouve la moindre altération. Apres un séjour d'un mois a six semaines à l'étuve,

je l'adapte au moyen d'un caoutchouc, sa pointe étant toujours fermée, à un appareil disposé comme il suit : 1° un gros tube de verre dans lequel j'ai placé un bout de tube de petit diamètre, ouvert à ses extrémités, libre de glisser dans le gros tube et renfermant une portion d'une des petites bourres de coton chargée des poussières de l'air; 2° un tube en T muni de trois robinets; l'un des robinets communique avec la machine pneumatique, un autre avec un tube de platine chauffé au rouge, le troisième avec le gros tube dont je viens de parler.

Alors, après avoir fermé le robinet qui communique au tube de platine, je fais le vide. Le robinet est ensuite ouvert de façon à laisser rentrer peu à peu dans l'appareil de l'air calciné. Le vide et la rentrée de l'air calciné sont répétés alternativement dix à douze fois. Le petit tube à coton se trouve ainsi rempli d'air brûlé jusque dans les moindres interstices du coton, mais il a gardé ses poussières. Cela fait, je brise la pointe du ballon à travers le caoutchouc, sans dénouer les cordonnets, puis je fais couler le petit tube à coton dans le ballon. Enfin je referme à la lampe le col du ballon qui est de nouveau reporté à l'étuve. Or, il arrive constamment que des productions apparaissent dans le ballon. Voici les particularités de l'expérience qu'il importe le plus de remarquer.

1°. Les productions organisées commencent toujours à se montrer au bout de vingt-quatre à trente-six heures. C'est précisément le temps nécessaire pour que ces mêmes productions apparaissent dans cette même liqueur lorsqu'elle est exposée au contact de l'air commun.

2°. Les moisissures naissent le plus ordinairement dans le petit tube à coton, dont elles remplissent bientôt les extrémités.

3°. Il se forme les mêmes productions qu'à l'air ordinaire. Pour les infusoires, c'est le *bacterium*. Pour les mucédinées, ce sont des *penicillium*, des *ascophora*, des *aspergillus*, et bien d'autres genres encore.

4°. De même qu'à l'air ordinaire, la liqueur fournit tantôt un genre de mucédinée, tantôt un autre, de même dans l'expérience il y a développement de moisissures diverses.

En résumé, nous voyons d'une part qu'il y a toujours, parmi les poussières en suspension dans l'air commun, des corpuscules organisés, et d'autre part que les poussières de l'air mises en présence d'une liqueur appropriée, dans une atmosphère par elle-même tout à fait inactive, donnent lieu à des productions diverses, le *bacterium termo* et plusieurs mucédinées, celles-là même que fournirait la liqueur après le même temps, si elle était librement exposée à l'air ordinaire.

Cependant le coton, en tant que coton et matière organique, n'entre-t-il pour rien dans l'expérience? Et qu'arriverait-il d'ailleurs en

répétant la manipulation sur un ballon préparé comme il vient d'être dit, en éloignant les poussières de l'air?

J'ai alors remplacé le coton par de l'amiante, substance minérale. Les bourres d'amiante, après une exposition de quelques heures au courant d'air de l'aspirateur, ont été introduites dans les ballons comme je l'ai expliqué précédemment, et elles ont donné les mêmes résultats que les bourres de coton ; mais avec une bourre d'amiante préalablement calcinée et non chargée des poussières de l'air, il ne s'est produit ni trouble, ni bacterium, ni mucédinée quelconque. Le liquide a conservé une limpidité parfaite.

La méthode suivante confirme et agrandit ces premiers résultats.

Je prends un certain nombre de ballons dans lesquels j'introduis le même liquide fermentescible, en même quantité. J'étire leurs cols à la lampe en les recourbant de diverses manières, mais je les laisse tous ouverts, avec une ouverture de 1 à 2 millimètres carrés de surface ou davantage. Je fais bouillir le liquide pendant quelques minutes dans le plus grand nombre de ces ballons. Je n'en laisse que trois ou quatre que je ne porte pas à l'ébullition. Puis j'abandonne tous ces ballons dans un lieu où l'air est calme.

Après vingt-quatre ou quarante-huit heures, suivant la température, le liquide des ballons qui n'a subi aucune ébullition dans ces ballons (mais qui avait été porté à 100° au moment de sa préparation) se trouble et se couvre peu à peu de mucors divers. Le liquide des autres ballons reste limpide, non pas seulement quelques jours, mais durant des mois entiers. Cependant tous les ballons sont ouverts; sans nul doute ce sont les sinuosités et les inclinaisons de leurs cols qui garantissent leur liquide de la chute des germes. L'air commun, il est vrai, est entré brusquement à l'origine, mais pendant toute la durée de sa rentrée brusque le liquide, très chaud et lent à se refroidir, faisait périr les germes apportés par l'air, puis, quand le liquide est revenu à une température assez basse pour rendre possible le développement de ces germes, l'air rentrant très lentement laissait tomber ses poussières à l'ouverture du col, ou les déposait en route sur les parois intérieures. Aussi vient-on à détacher le col de l'un des ballons par un trait de lime et place-t-on verticalement la portion restante, après un jour ou deux, le liquide donne des moisissures ou se remplit de bacteriums.

M. Chevreul a déjà fait autrefois dans ses cours des expériences analogues.

Cette méthode, si facile à mettre en pratique et qu'explique si bien la précédente, portera la conviction dans les esprits les plus prévenus. Elle offre en outre, à mon avis, un intérêt tout particulier par la preuve

qu'elle nous donne que dans l'air il n'y a rien, en dehors de ses poussières, qui soit une condition de l'organisation. L'oxygène n'intervient que pour entretenir la vie des êtres fournis par les germes. Gaz, fluide, électricité, magnétisme, ozone, choses connues ou choses occultes, il n'y a quoi que ce soit dans l'air, hormis les germes qu'il charrie, qui soit une condition de la vie.

Je vais étudier d'autres liqueurs, la production d'autres plantes et d'autres infusoires. J'espère arriver, en outre, à pouvoir suivre directement les rapports de la graine au végétal, de l'œuf à l'animal, dans plusieurs circonstances particulières. Je m'empresserai de communiquer à l'Académie tous les résultats qui me paraîtront dignes de fixer son attention.

DE L'ORIGINE DES FERMENTS. NOUVELLES EXPÉRIENCES RELATIVES AUX GÉNÉRATIONS DITES SPONTANÉES (1)

Parmi les questions que soulèvent les recherches que j'ai entreprises sur les fermentations proprement dites, il n'en est pas de plus digne d'attention que celle qui se rapporte à l'origine des ferments. D'où viennent ces agents mystérieux, si faibles en apparence, si puissants dans la réalité, qui sous un poids très minime, avec des caractères chimiques extérieurs insignifiants, possèdent une énergie exceptionnelle? Tel est le problème qui m'a conduit à l'étude des générations dites spontanées.

La communication que j'ai eu l'honneur de soumettre à l'Académie dans sa séance du 6 février dernier ne faisait mention que d'une seule liqueur propre au développement des infusoires et des mucédinées, mais je donnais une méthode applicable à tous les liquides.

J'ai prouvé alors avec une rigueur qui n'a été l'objet que de contestations apparentes [2] : 1° que les particules solides charriées par l'air atmosphérique étaient l'origine de toutes les productions végétales et animales propres à la liqueur en question; 2° que ces particules examinées au microscope sont des poussières amorphes constamment associées à des corpuscules dont la forme, le volume et la structure annoncent qu'ils sont organisés à la manière des œufs des infusoires ou des spores des mucédinées.

Je puis aujourd'hui étendre les assertions de ma communication du 6 février a deux substances encore plus altérables que cette infusion d'eau sucrée mêlée de matières albumineuses, qui avait été plus particulièrement le sujet de mes premiers essais. Je veux parler du lait et de l'urine. Les détails des résultats propres à ces deux liqueurs montreront, je l'espère, tout l'avenir réservé à ce genre d'études.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 7 mai 1860, L, p. 849-854.
2. *Voir* les publications récentes de MM. Pouchet et Joly, insérées aux *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, L, 1860, p. 532, 572 et 748.

J'introduis 100 centimètres cubes environ d'urine fraîche dans un ballon de 250 centimètres cubes. Le col effilé du ballon communique avec un tube de platine chauffé au rouge. On fait bouillir le liquide pendant deux à trois minutes, puis on le laisse refroidir. Lorsqu'il est rempli d'air ayant subi la température rouge, on ferme son col à la lampe.

Ce ballon ainsi disposé peut demeurer indéfiniment dans une étuve à une température de 30° sans éprouver d'altération. Après un séjour d'un mois à six semaines, je fais tomber dans ce ballon un peu d'amiante chargée des poussières de l'air, en suivant exactement la méthode que j'ai décrite aux *Comptes rendus* de la séance du 6 février. Puis, le col du ballon étant refermé à la lampe, je le porte de nouveau à l'étuve.

Afin de m'assurer que la manipulation à laquelle je soumets ce ballon pour y introduire les poussières de l'air n'a par elle-même aucun effet quelconque sur le résultat de l'expérience, je prépare un deuxième ballon pareil au précédent; seulement, au lieu d'y laisser tomber de l'amiante chargée des poussières de l'air, j'y place cette même amiante préalablement calcinée quelques instants avant son introduction dans le ballon. Voici les résultats constants des expériences : Le liquide du ballon qui a reçu l'amiante privée des poussières de l'air reste inaltéré à la température de 30°, quelle que soit la durée de son exposition à cette température, si favorable à la putréfaction de l'urine. Au contraire, après trente-six heures, l'urine qui a reçu les poussières de l'air renferme des productions organisées, mucédinées ou infusoires. Parmi ces derniers, j'ai reconnu principalement des bacteriums, de très petits vibrions et des monades, enfin les mêmes infusoires que je découvrais dans la même urine exposée au contact de l'air commun à la température de 30°. Les jours suivants, on voit se déposer en abondance des cristaux de phosphate ammoniaco-magnésien et des cristaux d'urates alcalins. L'urine devient de plus en plus ammoniacale. Son urée disparaît sous l'influence du véritable ferment de l'urine, ferment que je prouverai être organisé, et dont le germe ne peut avoir été apporté que par les poussières de l'air, aussi bien que celui des infusoires ou des mucédinées.

Le lait va nous offrir des particularités encore plus intéressantes. J'ai dit qu'avant de remplir le ballon d'air ayant subi la température rouge et de le fermer à la lampe, je faisais bouillir l'urine deux à trois minutes. Cette durée d'ébullition est suffisante et tout me porte à croire que l'on pourrait même prendre moins de précautions pour priver de vie ultérieure dans l'urine les germes qui y sont tombés depuis le moment où elle a été émise.

Cela posé, répétons sans changement ces opérations, non plus sur l'urine, mais sur le lait frais; c'est-à-dire qu'après avoir fait bouillir ce liquide deux à trois minutes et avoir rempli le ballon d'air rougi, nous le maintiendrons fermé à la température de 30°.

Après un temps variable, ordinairement de trois à dix jours, le lait de tous les ballons ainsi préparés se trouvera caillé. Dans les idées qui ont cours sur le phénomène de la coagulation du lait, il semble qu'il n'y ait rien là qui doive surprendre. Lorsque le lait, dit-on, est exposé au contact de l'oxygène de l'air, la matière albumineuse s'altère et devient ferment. Ce ferment réagit sur le sucre du lait, le transforme en acide lactique qui précipite alors la caséine. De là la coagulation. En réalité, les choses se passent tout différemment. Car si l'on ouvre l'un de ces ballons où le lait s'est caillé, on constate d'une part que ce lait est *aussi alcalin que le lait frais*, et d'autre part, ce qui ferait croire aux générations spontanées, que ce lait est rempli d'infusoires, le plus souvent de vibrions ayant jusqu'à $\frac{1}{20}$ de millimètre de longueur. Je n'y ai rencontré jusqu'à présent aucune production végétale.

Ces faits nous obligent à admettre : 1° que le phénomène de la coagulation du lait, ainsi que j'espère le montrer bientôt avec plus de clarté, est un phénomène sur lequel nous n'avions que des notions très incomplètes; 2° que des vibrions peuvent naître dans un liquide de la nature du lait qui a subi une ébullition de plusieurs minutes à la température de 100°, bien que cela n'arrive pas pour l'urine ni pour l'eau sucrée albumineuse [1].

Est-ce donc qu'il y aurait dans des conditions particulières des générations spontanées? Nous allons voir combien cette conclusion serait erronée. Que l'on fasse bouillir le lait, non plus deux minutes, mais trois, quatre, cinq minutes, on verra le nombre des ballons où le lait se caille par le fait de la présence des infusoires diminuer progressivement au fur et à mesure que l'ébullition aura été plus prolongée.

1. J'ai reconnu qu'il était facile de communiquer à l'eau sucrée albumineuse la propriété que possède le lait de donner des infusoires en présence de l'air rougi et après une ébullition à 100°. Il suffit d'ajouter un peu de craie à la liqueur. Au bout de quelques jours elle se trouble et se trouve remplie d'infusoires. L'altération est tout à fait nulle si l'ébullition a été faite à 110°. Lorsque la craie est supprimée, une seule minute d'ébullition est bien suffisante pour empêcher toute production d'infusoires.

Ces faits nous montrent que si le lait ne se comporte pas comme l'urine sous tous les rapports, il ne faut pas en attribuer la cause à quelque circonstance mystérieuse, mais plutôt accessoire, très probablement à son alcalinité.

Néanmoins il est fort curieux qu'une ébullition de 100°, pendant une minute ou deux, prive de vie et de fécondité certains germes, parce que la liqueur est très faiblement acide, comme le sont en effet l'urine et l'eau de levûre de bière où l'on a fait dissoudre du sucre; tandis que cette ébullition à 100°, maintenue même un peu plus longtemps, n'enlève pas à ces germes leur fécondité, lorsque les liqueurs sont neutres ou légèrement alcalines.

Et enfin, si l'on pratique l'ébullition de 110 à 112° sous la pression d'une atmosphère et demie, jamais le lait ne donnera d'infusoires [1]. Par conséquent, s'ils prennent naissance dans la première disposition des expériences, c'est évidemment que la fécondité des germes des vibrions n'est pas entièrement détruite, *même au sein de l'eau*, à une température de 100° qui dure quelques minutes, et qu'elle l'est davantage par une ébullition plus prolongée à cette température, et supprimée entièrement à la température de 110 à 112°.

Mais qu'advient-il en ce qui concerne le phénomène de la coagulation dans ces conditions spéciales d'ébullition où le lait au contact de l'air calciné ne donne jamais d'infusoires? Chose remarquable, le lait ne se caille pas. Il reste alcalin, et conserve, j'oserais dire intégralement, toutes les propriétés du lait frais [2]. Puis, fait-on passer dans ce lait resté pur les poussières de l'air, il s'altère, se caille, et le microscope y montre des productions diverses, animales et végétales.

Il y aurait un grand intérêt à savoir si les liquides de l'économie, tels que le lait et l'urine, renferment normalement ou accidentellement, avant tout contact de l'air commun, les germes de productions organisées. C'est une question que j'espère résoudre dans une communication ultérieure.

La théorie des ferments généralement admise et qui, dans ces dernières années, avait reçu un nouvel appui par les écrits ou les travaux de divers chimistes, me paraît donc de plus en plus en désaccord avec l'expérience. Le ferment n'est pas une substance morte, sans propriétés spécifiques déterminées. C'est un être dont le germe vient de l'air. Ce n'est pas une matière albumineuse que l'oxygène a altérée. La présence des matières albumineuses est une condition indispensable de toute fermentation, parce que le ferment a besoin d'elles pour vivre. Elles sont nécessaires à titre d'aliment du ferment. Le contact de l'air commun à l'origine est également une condition indispensable des fermentations, mais c'est à titre de véhicule des germes des ferments.

Quelle est la nature propre de ces germes? N'ont-ils pas besoin d'oxygène pour passer de l'état de germes à l'état de ferments adultes,

1. La durée de mes expériences est en ce moment de quarante jours pour le lait, de plusieurs mois pour l'urine.

2. Il éprouve seulement une légère oxydation directe de sa matière grasse qui se grumelle et communique au lait une faible saveur de suif. Voici l'analyse de l'air d'un ballon qui est resté quarante jours à l'étuve :

Oxygène	18,37
Azote	81,47
Acide carbonique	0,16
	100,00.

tels qu'ils se trouvent dans les produits en voie de fermentation? Je ne suis pas encore fixé sur ces graves questions. Je m'efforce de les suivre avec toute l'attention qu'elles méritent. Mais la difficulté vraiment capitale de ces études consiste dans la production isolée, individuelle des divers ferments. Je puis affirmer qu'il existe un grand nombre de levûres organisées distinctes, provoquant des transformations chimiques variables suivant leur nature et leur organisation. Mais le plus souvent l'aliment qui convient aux unes permet le développement des autres. De là les phénomènes les plus compliqués, les plus changeants. Réussit-on à dégager l'un de ces ferments, à le faire développer seul, la transformation chimique qui lui correspond s'accomplit alors avec une netteté et une simplicité remarquables.

J'en donnerai bientôt un nouvel exemple en faisant connaître la levûre organisée propre à la fermentation que l'on appelle visqueuse [1].

1. Pasteur. Sur la fermentation visqueuse et la fermentation butyrique. *Bulletin de la Société chimique de Paris*, séance du 8 février 1861, p. 30-31, et p. 134-135 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

NOUVELLES EXPÉRIENCES RELATIVES AUX GÉNÉRATIONS DITES SPONTANÉES (1)

Depuis les dernières communications que j'ai eu l'honneur d'adresser à l'Académie au sujet de l'origine des ferments et des générations dites *spontanées*, mon attention s'est portée sur divers points qui intéressent particulièrement le débat, et qui aujourd'hui encore soulèvent de graves difficultés, bien que leur explication se trouve implicitement comprise dans mes travaux antérieurs. Or, tant que la doctrine des générations spontanées pourra opposer à la doctrine contraire une seule objection sérieuse, on peut s'attendre à la voir reparaître. Car elle s'étaye, à notre insu, de ses affinités avec l'impénétrable mystère de l'origine de la vie à la surface du globe. C'est une de ces questions que l'on peut comparer au monstre de la Fable, à plusieurs têtes sans cesse renaissantes. Il faut les détruire toutes.

Un travail célèbre de Gay-Lussac, devenu entièrement classique, a singulièrement influé sur les esprits dans le sujet qui nous occupe. Chargé de l'examen des procédés de conserves d'Appert, qui n'étaient que l'application industrielle des expériences de Needham et de Spallanzani sur les générations dites spontanées, Gay-Lussac s'exprime ainsi :

« On peut se convaincre en analysant l'air des bouteilles dans lesquelles les substances ont été bien conservées qu'il ne contient plus d'oxygène, et que l'absence de ce gaz est par conséquent une condition nécessaire pour la conservation des substances animales et végétales (2). »

Dans le même travail, Gay-Lussac rapporte l'expérience, si souvent mentionnée depuis, des grains de raisin qui, écrasés sous le mercure, ne subissent la fermentation qu'autant qu'ils ont le contact de

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 3 septembre 1860, LI, p. 348-352.

2. Gay-Lussac. Extrait d'un Mémoire sur la fermentation. *Annales de chimie*, LXXVI, 1810, p. 252. (*Note de l'Édition.*)

l'oxygène pur ou de l'air en proportion même à peine sensible [p. 250].

Ces expériences, qui n'ont qu'une exactitude relative, n'ont jamais été contestées. Peu à peu, sans apporter dans ces délicates recherches une critique aussi sévère qu'il eût fallu l'exiger, les auteurs étendirent les principes du savant physicien aux productions des infusions. Et aujourd'hui encore, partisans et adversaires des générations spontanées, tout le monde admet que la plus petite quantité d'air commun, mise au contact d'une infusion, y détermine en peu de temps la naissance de mucédinées ou d'infusoires.

Cette manière de voir a toujours eu pour appui, au moins indirect, l'habitude prise et jugée indispensable par les observateurs d'éloigner avec des précautions infinies dans leurs expériences l'accès de l'air ordinaire. Tantôt ils recommandent de calciner l'air commun, tantôt ils le soumettent aux agents chimiques les plus énergiques ; souvent ils placent préalablement toutes ses parties au contact de la vapeur d'eau à 100° ; enfin ils opèrent d'autres fois avec de l'air artificiel, et s'il arrive, dans l'une de ces conditions diverses, que l'expérience donne lieu à des productions organisées, on n'hésite pas à affirmer que l'opérateur n'a pas su éviter complètement l'introduction d'une petite portion d'air ordinaire, si petite soit-elle. Dès lors les partisans des générations spontanées s'empressent de faire remarquer avec raison que, si la plus minime portion d'air ordinaire développe des organismes dans une infusion quelconque, il faut de toute nécessité, au cas où ces organismes ne sont pas spontanés, que dans cette portion si petite d'air commun il y ait les germes d'une multitude de productions diverses ; et qu'enfin, si les choses sont telles, l'air ordinaire, selon les expressions de M. Pouchet, doit être encombré de matière organique : elle y formerait brouillard.

Ce raisonnement est assurément fort sensé, d'autant plus que toutes les espèces inférieures qui se montrent distinctes semblent l'être réellement et provenir par conséquent de germes différents.

Il y a donc là une difficulté sérieuse et en apparence très réelle. Mais n'est-elle pas le fruit d'exagération et de faits plus ou moins erronés? Est-il vrai, comme on l'admet depuis Gay-Lussac, qu'il y a continuité de la cause des générations dites spontanées dans l'atmosphère terrestre? Est-il bien sûr que la plus petite quantité d'air ordinaire suffise à développer dans une infusion quelconque des productions organisées? Quel est enfin le degré de confiance qu'inspirent les résultats dus à Gay-Lussac, ou mieux l'interprétation qu'il leur a donnée, et qui a été non seulement acceptée, mais exagérée?

Les expériences suivantes répondent à toutes ces questions.

Dans une série de ballons de 250 centimètres cubes, j'introduis la même liqueur putrescible [1], de manière qu'elle occupe le tiers environ du volume total. J'effile les cols à la lampe, puis je fais bouillir la liqueur et je ferme l'extrémité effilée pendant l'ébullition. Le vide se trouve fait dans les ballons. Alors je brise leurs pointes dans un lieu déterminé. L'air ordinaire s'y précipite avec violence, entraînant avec lui toutes les poussières qu'il tient en suspension et tous les principes connus ou inconnus qui lui sont associés. Je referme alors immédiatement les ballons par un trait de flamme et je les transporte dans une étuve à 25 ou 30°, c'est-à-dire dans les meilleures conditions de température pour le développement des animalcules et des mucors.

Voici les résultats de ces expériences, qui sont en désaccord avec les principes généralement admis, et parfaitement conformes, au contraire, avec l'idée d'une dissémination des germes.

Le plus souvent, en très peu de jours, la liqueur s'altère, et l'on voit naître dans les ballons, bien qu'ils soient placés dans des conditions identiques, les êtres les plus variés; beaucoup plus variés même, surtout en ce qui regarde les mucédinées et les torulacées, que si les liqueurs avaient été librement exposées à l'air ordinaire. Mais, d'autre part, il arrive fréquemment, plusieurs fois dans chaque série d'essais, que la liqueur reste absolument intacte, quelle que soit la durée de son exposition à l'étuve, comme si elle avait reçu de l'air calciné.

Ce mode d'expérimentation me paraît aussi simple qu'irréprochable pour démontrer que l'air ambiant n'offre pas, à beaucoup près, avec continuité la cause des générations dites spontanées et qu'il est toujours possible de prélever dans un lieu et à un instant donnés un volume considérable d'air ordinaire, n'ayant subi aucune espèce d'altération physique ou chimique, et néanmoins tout à fait impropre à donner naissance à des infusoires ou à des mucédinées, dans une liqueur qui s'altère très vite et constamment au libre contact de l'air. Le succès partiel de ces expériences nous dit assez d'ailleurs que, par l'effet des mouvements de l'atmosphère, il passera toujours à la surface d'une liqueur, qui aura été placée bouillante dans un vase découvert, une quantité d'air suffisante pour qu'elle en reçoive des germes propres à s'y développer dans l'espace de deux ou trois jours.

J'ai dit que les productions sont plus variées dans les ballons que si le contact avec l'air était libre. Rien de plus naturel. Car, en limitant la prise d'air et en la répétant nombre de fois, on saisit en quelque

1. Eau albumineuse provenant de la levûre de bière, eau albumineuse sucrée, urine, etc.

sorte les germes de l'air avec toute la variété sous laquelle ils s'y trouvent.

Les germes en petit nombre d'un volume limité d'air ne sont pas gênés dans leur développement par des germes plus nombreux ou d'une fécondité plus précoce, capables d'envahir le terrain, en ne laissant place que pour eux. C'est ainsi que le *penicillium glaucum*, dont les spores sont vivaces et fort répandues, se montre seul au bout de très peu de jours dans les liqueurs non renfermées, qui offrent au contraire des productions extrêmement diverses lorsqu'on les soumet à des quantités limitées d'air.

Enfin je ne dois pas omettre de signaler les différences que l'on observe dans le nombre des résultats négatifs de ces expériences suivant les conditions atmosphériques. Ici encore nous trouvons une confirmation frappante de l'opinion que je défends.

Rien de plus facile en effet que d'élever ou de réduire soit le nombre des ballons où il naîtra des productions, soit le nombre des ballons où elles seront totalement absentes.

Je me bornerai à parler ici des expériences que j'ai pu entreprendre dans les caves de l'Observatoire de Paris, grâce à l'obligeance de M. Le Verrier.

Dans cette partie des caves situées dans la zone de température invariable, l'air parfaitement calme doit évidemment laisser tomber ses poussières à la surface du sol, dans l'intervalle des agitations qu'un observateur peut y provoquer par ses mouvements ou par les objets qu'il transporte. Et en multipliant par conséquent les précautions, lorsqu'on y descend, pour y faire des prises d'air, les ballons qui ultérieurement se montreront sans productions organisées devront être considérablement plus nombreux que dans le cas où ils auront été, par exemple, remplis d'air dans la cour de l'établissement. C'est en effet ce qui arrive, et le sens des résultats, par l'accord qu'il présente avec la nature ou la multiplicité plus ou moins grande des précautions dont on s'entoure, afin d'éviter l'introduction accidentelle des poussières étrangères, oblige d'admettre que, si les ballons étaient ouverts et fermés dans les caves sans que l'opérateur fût tenu de s'y transporter, l'air de ces caves se montrerait constamment aussi inactif que de l'air porté au rouge. Ce n'est pas cependant qu'il ait par lui-même, et vu les conditions où il est placé, une inactivité propre. Tout au contraire, se trouvant saturé d'humidité et la plupart des organismes inférieurs n'ayant nul besoin de lumière pour vivre, cet air m'a toujours paru plus propre que celui de la surface du sol au développement de ces organismes.

En résumé, nous voyons que l'air ordinaire ne renferme que çà et là, sans aucune continuité, la condition de l'existence première des générations dites spontanées. Ici il y a des germes, à côté il n'y en a pas. Plus loin il y en a de différents. Il y en a peu ou beaucoup selon les localités. La pluie en diminue le nombre. Pendant l'été, après une succession de beaux jours, il y en a considérablement. Et là où il y a un grand calme prolongé de l'atmosphère, les germes sont tout à fait absents et la putréfaction n'existe pas, du moins pour les liquides sur lesquels j'ai opéré.

Mais comment se fait-il que dans l'expérience des grains de raisin de Gay-Lussac la levûre de bière prenne naissance à la suite de l'introduction d'une très petite portion d'air; et que si l'on répète cette même expérience sur des infusions diverses, on voie celles-ci s'altérer sous l'influence de quantités d'air minimes, bien plus, par l'introduction d'air calciné ou d'air artificiel? car les expériences de M. Pouchet effectuées sur la cuve à mercure sont exactes, tandis que celles de Schwann y sont presque constamment erronées. C'est tout simplement que le mercure est à profusion rempli de germes. Je l'ai déjà dit à propos d'expériences qui seront exposées dans mon Mémoire, mais je vais aujourd'hui en donner des preuves qui étonneront tout le monde.

Je prends du mercure, puisé sans précautions particulières, dans la cuve d'un laboratoire quelconque, et, à l'aide de la méthode que j'ai décrite antérieurement, au sein d'une atmosphère d'air calciné, je dépose un seul globule de ce mercure, de la grosseur d'un pois, dans une liqueur altérable. Deux jours après, dans toutes les expériences que j'ai faites, il y a eu des productions variées; et en répétant au même moment, par la même méthode, sans rien changer à la manipulation, les mêmes essais, sur du mercure de même provenance, mais préalablement chauffé, il n'y a pas eu la moindre production.

SUITE A UNE PRÉCÉDENTE COMMUNICATION RELATIVE AUX GÉNÉRATIONS DITES SPONTANÉES [1]

Dans une communication soumise récemment au jugement de l'Académie, j'ai établi, par des expériences nombreuses, qu'il n'y a pas dans l'atmosphère continuité de la cause des générations dites spontanées, c'est-à-dire qu'il est toujours possible de prélever en un lieu déterminé un volume notable, mais limité, d'air ordinaire, *n'ayant subi aucune espèce de modification physique ou chimique*, et tout à fait impropre néanmoins à provoquer une altération quelconque dans une liqueur éminemment putrescible. De là ce principe, que la condition première de l'apparition des êtres vivants dans les infusions, ou dans les liquides fermentescibles, n'existe pas dans l'air considéré comme fluide, mais qu'elle s'y trouve çà et là, par places, offrant des solutions de continuité nombreuses et variées, comme on doit le prévoir dans l'hypothèse d'une dissémination des germes.

Il m'a paru très intéressant de suivre les idées que suggèrent les résultats qui précèdent, en soumettant l'air, pris à des hauteurs diverses, au mode d'expérimentation que j'ai fait connaître. J'aurais pu m'élever en aérostat; mais, pour des études d'essai, préliminaires en quelque sorte, j'ai pensé qu'il serait plus commode, et peut-être plus utile, d'opérer comparativement dans la plaine et sur les montagnes.

J'ai l'honneur de déposer sur le bureau de l'Académie soixante-treize ballons, chacun de $\frac{1}{4}$ de litre de capacité, préparés comme je l'ai dit dans ma communication du 3 septembre dernier; c'est-à-dire qu'ils étaient primitivement vides d'air, et remplis au tiers d'eau de levûre de bière, filtrée limpide, liqueur fort altérable, comme on le sait, car il suffit de l'exposer deux ou trois jours au plus à l'air ordinaire pour la voir donner naissance aux petits infusoires ou à des mucédinées diverses.

Vingt de ces ballons ont reçu de l'air dans la campagne, assez loin

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 5 novembre 1860, LI, p. 675-678.

de toute habitation, au pied des hauteurs qui forment le premier plateau du Jura [1]. Vingt autres ont été ouverts [2] sur l'une des montagnes du Jura, à 850 mètres au-dessus du niveau de la mer [3]. Enfin une autre série de vingt de ces mêmes ballons a été transportée au Montanvert, près de la Mer de Glace, à 2000 mètres d'élévation.

Les résultats offerts par ces trois séries de ballons m'ont paru assez remarquables pour être mis sous les yeux de l'Académie.

En effet, des vingt ballons ouverts dans la campagne, huit renferment des productions organisées. Des vingt ballons ouverts sur le Jura, cinq seulement en contiennent, et enfin des vingt ballons remplis au Montanvert, par un vent assez fort, soufflant des gorges les plus profondes du glacier des Bois, un seul est altéré. Il faudrait sans doute multiplier beaucoup ces expériences. Mais, telles qu'elles sont, elles tendent à prouver déjà qu'à mesure que l'on s'élève, le nombre des germes en suspension dans l'air diminue considérablement. Elles montrent surtout la pureté, au point de vue qui nous occupe, de l'air des hautes cimes couvertes de glace, puisqu'un seul des vases remplis au Montanvert a donné naissance à une mucédinée.

La prise d'air exige quelques précautions que j'avais reconnues indispensables depuis longtemps pour éloigner autant qu'il est possible l'intervention des poussières que l'opérateur porte avec lui, et de celles qui sont répandues à la surface des ballons ou des outils dont il faut se servir. Je chauffe d'abord assez fortement le col du ballon et sa pointe effilée dans la flamme d'une lampe à alcool. Puis je fais un trait sur le verre à l'aide d'une lame d'acier. Alors, élevant le ballon au-dessus de ma tête, dans une direction opposée au vent, je brise la pointe avec une pince en fer, dont les longues branches viennent de passer dans la flamme, afin de brûler les poussières qui pourraient être à leur surface, et qui ne manqueraient pas d'être chassées en partie dans le ballon, par la rentrée brusque de l'air.

J'avais été fort préoccupé, durant mon voyage, de la crainte que l'agitation du liquide dans les vases pendant le transport n'ait quelque influence fâcheuse sur les premiers développements des infusoires ou des mucors. Les résultats suivants éloignent ces scrupules. Ils vont nous permettre en outre de reconnaître toute la différence qui existe entre l'air de la plaine ou des hauteurs et celui des lieux habités.

Mes premières expériences sur le glacier des Bois furent interrompues par une circonstance que je n'avais nullement prévue. J'avais

1. Près d'Arbois, sur la route de Dôle.
2. Le texte original porte une erreur typographique qui a été rectifiée.
3. Mont Poupet, près de Salins. (*Notes de l'Édition.*)

emporté, pour refermer la pointe des ballons après la prise d'air, une lampe éolipyle alimentée par de l'alcool. Or la blancheur de la glace frappée par le soleil était si grande, qu'il me fut impossible de distinguer le jet de vapeur d'alcool enflammé, et comme ce jet de flamme était d'ailleurs un peu agité par le vent, il ne restait jamais sur le verre brisé assez de temps pour fondre la pointe et refermer hermétiquement le ballon. Tous les moyens que j'aurais pu avoir alors à ma disposition pour rendre la flamme visible, et par suite dirigeable, auraient inévitablement donné lieu à des causes d'erreur, en répandant dans l'air des poussières étrangères.

Je fus donc obligé de rapporter à la petite auberge du Montanvert, non refermés, les ballons que j'avais ouverts sur le glacier, et d'y passer la nuit, afin d'opérer dans de meilleures conditions, le lendemain matin, avec d'autres ballons. Ce sont les résultats de cette deuxième série d'expériences que j'ai indiqués tout à l'heure.

Quant aux treize ballons ouverts la veille sur le glacier, je ne les refermai que le lendemain matin, après qu'ils eurent été exposés toute la nuit aux poussières de la chambre dans laquelle j'avais couché. Or, de ces treize ballons, il y en a dix qui renferment des infusoires ou des moisissures.

Puisque le nombre des ballons altérés dans ces premiers essais est plus grand que dans ceux qui ont suivi, l'agitation du liquide pendant le voyage n'a pas l'influence que je redoutais sur le développement des germes. En outre, la proportion des ballons qui, dans ces premières expériences, offrent des productions organisées, nous donne la preuve indubitable que les lieux habités renferment un nombre relativement considérable de germes féconds.

En résumé, et si l'on rapproche tous les résultats auxquels je suis arrivé jusqu'à présent, on peut affirmer, ce me semble, que les poussières en suspension dans l'air sont l'origine exclusive, la condition première et nécessaire de la vie dans les infusions, dans les corps putrescibles et dans toutes les liqueurs capables de fermenter [1].

D'autre part, j'ai montré qu'il est facile de recueillir et d'observer au microscope ces poussières de l'air, et qu'on y voit toujours, au milieu de débris amorphes très divers, un grand nombre de corpus-

1. *Voir* mes communications précédentes, insérées aux *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séances des 6 février, 7 mai et 3 septembre 1860 [p. 187-201 du présent volume]. Il est entendu qu'il s'agit ici des liqueurs portées à l'ébullition. Je réserve évidemment dans mes conclusions le fait possible et très fréquent des germes introduits par les matières mêmes qui servent à préparer les liqueurs.

cules organisés, que le plus habile naturaliste ne saurait distinguer des germes des organismes inférieurs.

Je n'ai pas fini cependant avec toutes ces études. Ce qu'il y aurait de plus désirable serait de les conduire assez loin pour préparer la voie à une recherche sérieuse de l'origine de diverses maladies. Aussi j'espère que l'Académie voudra bien me permettre de lui soumettre encore prochainement de nouvelles observations sur les générations dites spontanées. Dans un tel sujet, qui touche à tant de choses, et des plus obscures, il ne saurait y avoir surabondance de preuves expérimentales.

DE L'INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LA FÉCONDITÉ DES SPORES DES MUCÉDINÉES (1)

Duhamel rapporte dans un de ses ouvrages qu'il a pu faire germer du froment qui avait supporté une température de 110° (2). Cette observation du savant agronome devint l'origine de quelques recherches de Spallanzani sur le degré de chaleur auquel on peut soumettre les graines sans leur faire perdre la faculté de germer (3). Parmi les plantes supérieures, cinq espèces de graines furent étudiées par lui : ce sont le pois chiche, la lentille, l'épeautre, la graine de lin et celle du trèfle. Spallanzani s'occupa en outre de l'influence de la température sur les spores des mucédinées. Pour ce qui est des graines des plantes supérieures, les résultats de Spallanzani, encore bien que très curieux, n'ont rien qui doive nous surprendre dans l'état présent de nos connaissances. La graine de trèfle, moins impressionnable que toutes les autres, a pu supporter une température voisine de 100°. Mais pour les graines des moisissures, Spallanzani fut conduit à des conséquences singulières. Il admet, en effet, que non seulement les spores des mucédinées peuvent supporter la température de 100° quand elles sont plongées dans l'eau, mais qu'elles peuvent même résister *à la chaleur d'un brasier ardent* lorsqu'elles sont sèches. D'ailleurs dans ce dernier cas il n'assigne pas la limite de température d'une manière précise.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 7 janvier 1861, LII, p. 16-19.

Avant cette communication, Pasteur en avait fait une le 12 novembre 1860 (*Voir* p. 131-133 du présent volume), intitulée : Recherches sur le mode de nutrition des mucédinées. Ce travail, démontrant que les organismes inférieurs peuvent apparaître sans qu'il y ait présence de matières albuminoïdes, apportait un argument capital contre la doctrine des générations spontanées, doctrine qui faisait jouer un rôle essentiel à la matière organique des infusions.

Cette communication du 12 novembre 1860 qui, d'autre part, avait pour but de montrer l'analogie entre les ferments et les espèces végétales inférieures, a été placée au chapitre I, Fermentations (p. 131-133 du présent volume).

2. Duhamel du Monceau. Supplément au Traité de la conservation des grains. *Paris*, 1765, in-12 (4 pl.).

3. Spallanzani. Opuscules de physique, animale et végétale, traduits de l'italien par Jean Senebier. *Genève*, 1777, 2 vol. in-12. Tome 1er : Observations et expériences sur les animalcules des infusions. (*Notes de l'Édition.*)

On aurait peine à comprendre que ces résultats de Spallanzani sur les graines des mucédinées n'aient pas été soumis à de nouvelles épreuves, si les expériences n'offraient ici des difficultés particulières. Celles que j'ai l'honneur de présenter aujourd'hui à l'Académie établissent bien que les spores des mucédinées peuvent rester fécondes après avoir été portées à de hautes températures, mais les limites supérieures ne sont pas, à beaucoup près, aussi élevées que l'avait indiqué Spallanzani.

Toute la difficulté du sujet consiste à trouver une méthode d'expérimentation rigoureuse. Rien de plus simple pour les plantes supérieures que d'essayer si leurs graines sont encore capables de germer lorsqu'elles ont été chauffées à une température déterminée : il ne pousse du blé que là où l'on en a semé; mais pour les mucédinées, elles se développent partout où elles rencontrent des conditions favorables. Il est donc indispensable de recourir à une disposition qui permette d'affirmer sûrement que la petite plante a été reproduite par les spores que l'on a semées, et non additionnellement par les spores qui sont en suspension dans l'air, ou déposées à la surface des objets mis en expérience.

Il ne me paraît pas douteux que les inexactitudes de Spallanzani dans la question qui nous occupe n'aient eu pour cause les difficultés qu'il a éprouvées à réaliser les conditions que j'indique, malgré son habileté bien reconnue.

Voici la méthode que j'ai suivie et qui me semble irréprochable. Je passe un peu d'amiante dans les petites têtes de la moisissure que je veux étudier; puis je place cette amiante couverte de spores dans un très petit tube de verre que j'introduis dans un tube en U de plus gros diamètre, où le petit tube peut se mouvoir librement. L'une des extrémités du tube en U se relie par un caoutchouc à un tube de métal à robinets, en forme de T. Un des robinets communique à la machine pneumatique, un autre à un tube de platine chauffé au rouge. L'autre extrémité porte un caoutchouc qui reçoit également le ballon où l'on doit semer les spores, ballon fermé à la lampe, rempli d'air calciné et du liquide préalablement porté à l'ébullition, devant servir d'aliment à la jeune plante. Enfin le tube en U plonge dans un bain d'huile, d'eau ordinaire ou d'eau saturée de divers sels, selon que l'on veut porter les spores à telle ou telle température. Entre le tube en U et le tube de platine il y a un tube desséchant à ponce sulfurique. Lorsque tout l'appareil qui précède le tube de platine a été rempli d'air calciné et que les spores ont été maintenues à la température voulue un temps suffisant que l'on peut faire varier, on brise la pointe du ballon par

un coup de marteau, sans dénouer les cordonnets du caoutchouc qui réunit le ballon au tube en U ; puis, inclinant convenablement ce dernier tube éloigné de son bain, on fait glisser dans le ballon l'amiante et ses spores. Enfin, l'on referme le ballon à la lampe par un trait de flamme sur l'un des étranglements ménagés sur son col. On le porte alors à l'étuve à une température de 20 à 30°, qui est la plus favorable au développement des mucédinées.

C'est en appliquant la méthode que je viens de décrire, et qui m'a paru répondre à toutes les difficultés de l'étude que j'avais en vue, que je suis arrivé aux conséquences suivantes :

Les spores des mucédinées, chauffées dans le vide ou dans l'air sec, restent fécondes après avoir été portées à une température de 120 à 125°. La durée de l'exposition à cette température a été, dans mes expériences, d'un quart d'heure, puis d'une demi-heure, trois quarts d'heure et une heure. Je n'ai pas été au delà, mais tout annonce que la durée de l'exposition à 120° peut être dépassée. Une exposition de vingt minutes ou d'une demi-heure de 127 à 130° suffit au contraire pour enlever complètement leur fécondité aux spores les moins impressionnables (1).

Des conditions nouvelles de milieu, de chaleur, d'électricité..., pourront-elles la leur rendre? C'est ce que je rechercherai, et ce que mes premiers essais dans cette direction me permettent déjà d'espérer. Certains faits, sur lesquels je reviendrai avec toute l'attention qu'ils méritent, m'autorisent à penser que des spores, et en général des germes, morts apparemment pour certaines conditions déterminées, ne le sont plus pour d'autres conditions nouvelles. Mais ce sujet est trop délicat pour que je l'aborde ici par des expériences encore incomplètes. Je rappellerai seulement que j'ai déjà eu l'occasion de montrer qu'en changeant la nature des liquides on peut faire varier les limites de température au delà desquelles la fécondité des germes disparaît.

Lorsque les spores sont chauffées dans l'eau, j'ai reconnu qu'il n'y en avait d'aucune sorte qui pût supporter, même pendant quelques minutes seulement, la température de 100°.

J'arrive maintenant à des résultats qui se lient étroitement à ceux qui précèdent : je veux parler de l'action de la température sur les poussières qui existent disséminées dans l'air libre. Mes recherches antérieures ont prouvé que ces poussières contiennent beaucoup de spores de mucédinées. Le microscope les fait voir, et elles germent

1. M. Payen a reconnu déjà depuis longtemps que les sporules de l'*oidium aurantiacum* conservaient leur faculté de développement après avoir été portées à 120°. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLVIII, 1859, p. 30.)

quand on sème les poussières dans des liqueurs appropriées. Or il arrive précisément, comme on devait s'y attendre, que si l'on sème ces poussières après les avoir portées de 120 à 125°, elles donnent des mucédinées, mais qu'elles cessent d'en produire si elles ont atteint la température de 125 à 130°. J'ai reconnu également que les poussières qui existent dans l'air sont incapables de donner naissance a des mucédinées quelconques après avoir été portées dans l'eau a la température de 100°. On remarquera la correspondance parfaite de ces résultats avec ceux qui se rapportent aux spores des mucédinées prises sur les plantes dans leur état naturel.

En résumé, les expériences que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie précisent nos connaissances sur l'origine des mucédinées, et rectifient diverses erreurs de Spallanzani, que l'état de la science à l'époque où il vivait ne lui avait pas permis d'éviter.

MÉMOIRE SUR LES CORPUSCULES ORGANISÉS QUI EXISTENT DANS L'ATMOSPHÈRE. EXAMEN DE LA DOCTRINE DES GÉNÉRATIONS SPONTANÉES (1).

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE (2).

Dans l'antiquité et jusqu'à la fin du moyen âge tout le monde croyait à l'existence des générations spontanées. Aristote dit que tout corps sec qui devient humide et tout corps humide qui se sèche engendrent des animaux.

1. *Annales des sciences naturelles* (partie zoologique), 4e sér., XVI, 1861, p. 5-98 (avec 33 fig. sur Pl. I), et *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., LXIV, janvier 1862, p. 5-110 (avec 33 fig. sur Pl. I et II). — *Paris*, 1862, Imprimerie de Mallet-Bachelier, 110 p., in-8° (33 fig. sur Pl. I et II).

Les principaux résultats de ce Mémoire ont été présentés à l'Académie des sciences, dans ses séances des 6 février, 7 mai, 3 septembre, 5 novembre 1860. J'ai fait connaître ceux du chapitre II à la Société chimique de Paris le 19 mai 1861 *. (*Note de Pasteur.*)

Le 3 juin 1861 Pasteur déposa à l'Académie des sciences cette Note : « J'ai l'honneur de présenter à l'Académie le résumé détaillé des diverses méthodes d'expérimentation et des résultats d'expériences que je n'avais fait connaître que sommairement dans plusieurs communications successives, au sujet de l'importante question des générations dites spontanées. Ce Mémoire devant paraître très prochainement *in extenso* dans les *Annales des sciences naturelles*, je me bornerai à reproduire ici les titres des neuf chapitres qui le composent. » Suivent les titres de ces chapitres.

Ce mémoire a fait l'objet d'un rapport, par Claude Bernard, sur le concours pour le prix Alhumbert, année 1862. On le trouvera à la fin de ce volume : Document V.

Il a été traduit en allemand sous le titre : Die in der Atmosphäre vorhandenen organisierten Körperchen. Prüfung der Lehre von der Urzeugung. Abhandlung von L. Pasteur, übersetzt von Dr A. Wieler. *Leipzig*, 1892, Engelmann, 98 p. 2 Taf., in-16 (Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften, n° 39). [*Notes de l'Édition.*]

2. Le lecteur pourra remarquer que l'une de mes préoccupations dans ce chapitre historique a été de rendre à chaque expérimentateur la part de progrès qui lui est due. Mais j'ai mis le même soin à ne pas confondre un progrès véritable, soit avec les nombreuses dissertations auxquelles le sujet a donné lieu, soit avec ces expériences d'une exactitude équivoque qui embarrassent au lieu d'aplanir la marche de la science. Dans ces sortes de questions ressassées par tant d'esprits depuis des siècles, toutes les vues *a priori*, tous les arguments que peuvent fournir l'analogie ou les faits indirects, toutes les hypothèses se sont fait jour. Ce qui importe, c'est de prouver rigoureusement, c'est d'instituer des expériences *dégagées de toute confusion née des expériences mêmes.*

* *Voir* la Leçon professée à la Société chimique de Paris, le 19 mai 1861, p. 295-316 du présent volume. Cette Leçon, bien qu'antérieure de quelques mois au Mémoire, a été placée à sa suite parce qu'elle en est le résumé. (*Note de l'Édition.*)

Van Helmont décrit le moyen de faire naître des souris.

Beaucoup d'auteurs indiquaient encore au XVIIe siècle la manière de faire produire des grenouilles au limon des marais, ou des anguilles à l'eau de nos rivières [1].

De pareilles erreurs ne pouvaient supporter longtemps l'esprit d'examen qui s'empara de l'Europe au XVIe et au XVIIe siècle.

Redi, membre célèbre de l'Académie *del Cimento*, fit voir que les vers de la chair en putréfaction étaient des larves d'œufs de mouches. Ses preuves étaient aussi simples que décisives, car il montra qu'il suffisait d'entourer d'une gaze fine la chair en putréfaction pour empêcher d'une manière absolue la naissance de ces larves.

Le premier également, Redi reconnut, dans les animaux qui vivent dans d'autres animaux, des mâles, des femelles, des œufs [2].

On surprit dans leur opération, disait plus tard Réaumur, ces mouches qui déposent leurs œufs dans les fruits, et l'on sut, lorsqu'on voyait un ver dans une pomme, que ce n'était pas la corruption qui l'avait engendré, mais au contraire que le ver est la cause de la corruption du fruit [3].

Mais bientôt, dans la seconde partie du XVIIe siècle et la première moitié du XVIIIe, se multiplièrent à l'envi les observations microscopiques. La doctrine des générations spontanées reparut alors. Les uns ne pouvant s'expliquer l'origine de ces êtres si variés que le microscope faisait apercevoir dans les infusions des matières végétales ou animales, et ne voyant chez eux rien qui ressemblât à une génération sexuelle, furent portés à admettre que la matière qui avait eu vie conservait après la mort une vitalité propre, sous l'influence de laquelle ses parties disjointes se réunissaient de nouveau, dans certaines conditions favorables, avec des variétés de structure et d'organisation que ces conditions mêmes déterminaient.

D'autres, au contraire, ajoutant par l'imagination aux résultats merveilleux que le microscope leur faisait découvrir, croyaient voir des accouplements dans ces infusoires, des mâles, des femelles, des œufs, et se posaient en adversaires déclarés de la génération spontanée.

Il faut le reconnaître, les preuves à l'appui de l'une ou de l'autre de ces opinions ne soutenaient guère l'examen.

La question en était là lorsque parut à Londres, en 1745, un ouvrage

1. *Voir* : Epistola 75 (1692) *in* : LEEUWENHOEK. Arcana naturæ detecta. *Lugduni Batavorum*, 1722, in-8° (fig.).

2. REDI (Fr.). Experimenta circa res diversas naturae. *Amsterdam*, 1675, in-12. (*Notes de l'Édition.*)

3. FLOURENS. Buffon. Histoire de ses travaux et de ses idées. *Paris*, 1844, in-8°, p. 78

de Needham [1], observateur habile et prêtre catholique d'une foi vive, circonstance qui, dans un tel sujet, s'offrait comme un garant de la sincérité de ses convictions.

La doctrine des générations spontanées était appuyée, dans cet ouvrage, sur des faits d'un ordre tout nouveau, je veux parler des expériences sur les vaisseaux hermétiquement clos, préalablement exposés à l'action de la température. C'est Needham, en effet, qui eut le premier l'idée de pareils essais.

Deux années ne s'étaient pas écoulées depuis la publication des recherches de Needham, que la Société Royale de Londres l'admettait au nombre de ses membres. Plus tard, il devint l'un des huit associés de l'Académie des sciences.

Mais ce fut surtout par l'appui qu'il reçut du système de Buffon sur la génération, que l'ouvrage de Needham eut un grand retentissement.

Les trois premiers volumes de Buffon de l'édition in-4° publiée de son vivant parurent en 1749. C'est dans le second volume de cette édition, quatre années après le livre de Needham, que Buffon expose son système des molécules organiques, et qu'il défend l'hypothèse des générations spontanées. Il est présumable que les résultats de Needham eurent une grande influence sur les vues de Buffon, car c'est à l'époque même où l'illustre naturaliste rédigeait les premiers volumes de son ouvrage, que Needham fit un voyage à Paris, durant lequel il fut le commensal de Buffon et pour ainsi dire son collaborateur.

Les idées de Needham et de Buffon eurent leurs partisans et leurs détracteurs. Elles se trouvaient en opposition avec un autre système fameux, celui de Bonnet, sur la préexistence des germes. La lutte était d'autant plus vive qu'elle pouvait paraître plus légitime aux deux partis. Nous savons aujourd'hui que la vérité n'était ni d'un côté ni de l'autre. Et puis, c'était encore le temps où l'on dissertait volontiers à perdre haleine sur des systèmes, sur des vues spéculatives.

Il y avait en quelque sorte deux hommes d'un esprit opposé dans Buffon, l'un qui aujourd'hui avouera sans détours qu'il cherche une hypothèse pour ériger un système, et [l'autre] qui le lendemain écrira la belle préface de sa traduction de la *Statique des végétaux* de Hales [2], où la nécessité de l'expérience est placée à la hauteur qui convient.

1. Needham (J.-T.). An account of some new microscopical discoveries. *London*, 1745, in-8°. — Nouvelles observations microscopiques avec des découvertes intéressantes sur la composition et la décomposition des corps organisés (traduites par L. A. Lavirotte). *Paris*, 1850, 524 p., in-12.

2. Hales. La statique des végétaux et l'analyse de l'air. Ouvrage traduit de l'anglais par M. de Buffon. *Paris*, 1735, in-4° (fig.). [*Notes de l'Édition.*]

Ces deux côtés du génie de Buffon se retrouvent à des degrés divers dans tous les savants de son époque.

Mais les conclusions de Needham ne tardèrent pas à être soumises à une vérification expérimentale. Il y avait alors en Italie l'un des plus habiles physiologistes dont la science puisse s'honorer, le plus ingénieux, le plus difficile à satisfaire, l'abbé Spallanzani.

Needham, ainsi que je le rappelais tout à l'heure, avait appuyé la doctrine des générations spontanées sur des expériences directes fort bien imaginées. L'expérience seule pouvait condamner ou absoudre ses opinions. C'est ce que Spallanzani comprit très bien. « Dans plusieurs villes d'Italie, dit-il, on a vu des partis formés contre l'opinion de M. de Needham ; mais je ne crois pas que personne ait jamais songé à l'examiner par la voie de l'expérience. »

Spallanzani publia à Modène, en 1765, une dissertation dans laquelle il réfutait les systèmes de Needham et de Buffon. Cet ouvrage fut traduit en français, probablement à la demande de Needham, car l'édition qui en fut donnée en 1769 est accompagnée de notes rédigées par lui, où il répond à toutes les objections de Spallanzani (1).

Ce dernier, frappé sans doute de la justesse des critiques de Needham, se remit à l'œuvre de nouveau, et fit bientôt paraître ce bel ensemble de travaux dont il nous a transmis les détails dans ses *Opuscules physiques* (2).

Il serait sans utilité de présenter un historique complet de la querelle des deux savants naturalistes. Mais il importe de bien préciser la difficulté expérimentale à laquelle ils appliquèrent plus particulièrement leurs efforts, et de rechercher si ce long débat avait éloigné tous les doutes. C'est ce que l'on croit généralement. Spallanzani est volontiers regardé comme l'adversaire victorieux de Needham. Si ce jugement était fondé, n'y aurait-il pas lieu de s'étonner qu'il y eût encore de nos jours de si nombreux partisans de la doctrine des générations spontanées? Dans les sciences, l'erreur n'est-elle pas plus prompte à s'effacer, même dans des questions de cet ordre, lorsqu'elle a été bien réellement démasquée par l'expérience ? N'est-il pas à craindre, si on la voit renaître de bonne foi, que sa défaite n'ait été qu'apparente? Un examen impartial des observations contradictoires de Spallanzani et de Needham sur le point le plus délicat du sujet va

1. Nouvelles recherches sur les découvertes microscopiques et la génération des corps organisés, ouvrage traduit de l'italien de M. l'abbé SPALLANZANI, avec des notes par M. de NEEDHAM. *Londres et Paris*, 1769, in-12. (*Note de l'Édition.*)

2. SPALLANZANI. Opuscules de physique, animale et végétale, traduits de l'italien par Jean SENEBIER. *Genève*, 1777, 2 vol., in-12 (fig.).

nous montrer, en effet, contrairement à l'opinion généralement admise, que Needham ne pouvait en toute justice abandonner sa doctrine en présence des travaux de Spallanzani.

J'ai dit que Needham était l'auteur des expériences relatives à ce que l'on observe dans les vases clos, exposés préalablement à l'action du feu.

« M. de Needham, dit Spallanzani, nous assure que les expériences ainsi disposées ont toujours réussi fort heureusement entre ses mains, c'est-à-dire que les infusions ont montré des infusoires, et que c'est là ce qui a mis le sceau à son système.

« Si, après avoir purgé, ajoute Spallanzani, par le moyen du feu, et les substances que l'on met dans les vases et l'air contenu dans ces mêmes vases, on porte encore la précaution jusqu'à leur ôter toute communication avec l'air ambiant, et que, malgré cela, à l'ouverture des fioles, on y trouve encore des animaux vivants, cela deviendra une forte preuve contre le système des ovaires; *j'ignore même ce que ses partisans pourront y répondre.* »

Je souligne ces derniers mots afin de montrer que Spallanzani plaçait dans le résultat des expériences ainsi conduites le criterium de la vérité ou de l'erreur. Or nous allons voir par la citation suivante, extraite des notes de Needham, que tel était également l'avis de ce dernier. Voici en effet un passage des remarques de Needham sur le chapitre X de la première dissertation de Spallanzani :

« Il ne me reste plus, dit Needham, qu'à parler de la dernière expérience de Spallanzani, qu'il regarde lui-même comme la seule de toute sa dissertation qui paraît avoir quelque force contre mes principes.

« Il a scellé hermétiquement dix-neuf vases remplis de différentes substances végétales, et il les a fait bouillir, ainsi fermés, pendant l'espace d'une heure. Mais de la façon qu'il a traité et mis à la torture ses dix-neuf infusions végétales, il est visible que non seulement il a beaucoup affaibli, ou peut-être totalement anéanti la *force végétative* des substances infusées, mais aussi qu'il a entièrement corrompu, par les exhalaisons et par l'ardeur du feu, la petite portion d'air qui restait dans la partie vide de ses fioles. Il n'est pas étonnant par conséquent que ses infusions ainsi traitées n'aient donné aucun signe de vie. Il en devait être ainsi.

« Voici donc ma dernière proposition et le résultat de tout mon travail en peu de mots : Qu'il se serve, en renouvelant ses expériences, de substances suffisamment cuites pour détruire tous les prétendus germes qu'on croit attachés ou aux substances mêmes ou aux parois

intérieures, ou flottant dans l'air du vase; qu'il scelle ses vases hermétiquement, en y laissant une certaine portion d'air sans le bouleverser; qu'il les plonge ensuite dans l'eau bouillante pendant quelques minutes, le temps seulement qu'il faut pour durcir un œuf de poule et pour faire périr les germes; en un mot, qu'il prenne toutes les précautions qu'il voudra, pourvu qu'il ne cherche qu'à détruire les prétendus germes étrangers qui viennent du dehors, et je réponds qu'il trouvera toujours de ces êtres vitaux microscopiques en nombre suffisant pour prouver mes principes. S'il ne trouve à l'ouverture de ses vases, après les avoir laissés reposer le temps nécessaire à la génération de ces corps, rien de vital ni aucun signe de vie, en se conformant à ces conditions, j'abandonne mon système et je renonce à mes idées. C'est, je crois, tout ce qu'un adversaire judicieux peut exiger de moi (1). »

Voilà certes la discussion bien nettement limitée entre Needham et Spallanzani. C'est dans le chapitre III du tome Ier de ses *Opuscules* que Spallanzani aborde la difficulté décisive. Et quelle est sa conclusion? Pour supprimer toute production d'infusoires, il est nécessaire de maintenir trois quarts d'heure les infusions à la chaleur de l'eau bouillante (2). Or cette durée obligée d'une température de 100° pendant trois quarts d'heure ne justifiait-elle pas les craintes de Needham sur une altération possible de l'air des vases? Il aurait fallu tout au moins que Spallanzani joignît à ses expériences une analyse de cet air. Mais la science n'était pas encore assez avancée; l'eudiométrie n'était pas encore créée. La composition de l'air atmosphérique était à peine connue (3).

Les résultats des expériences de Spallanzani sur le point le plus délicat de la question conservaient donc aux objections de Needham toute leur valeur. Bien plus, celles-ci se trouvèrent légitimées, au moins en apparence, par les progrès ultérieurs de la science.

1. Note de M. de NEEDHAM *in* : Nouvelles recherches sur les découvertes microscopiques, etc., p. 216-218. (*Note de l'Édition.*)

2. « Je réussis, dit Spallanzani, à me procurer ensuite des vases qui résistèrent mieux à l'action du feu, et je parvins à leur faire éprouver une ébullition plus longue, en n'y mettant qu'une petite dose des infusions dont j'ai parlé; sans cette précaution, j'étais encore sûr de voir sauter tous mes vases. Mais, pour ne pas perdre un temps précieux dans de trop petits détails, je rapporterai seulement le résultat de mes observations. L'ébullition d'une demi-heure ne fut pas un obstacle à la naissance des animalcules du dernier ordre qui peuplèrent toujours plus ou moins tous les vases exposés à son action pendant tout ce temps-là; mais l'ébullition pendant trois quarts d'heure ou même pendant un temps un peu moindre eut la force de priver entièrement d'animalcules les six infusions. » (SPALLANZANI. Opuscules de physique, animale et végétale, t. I, p. 39-40.)

3. La première dissertation de Spallanzani est de 1765. Ses *Opuscules* parurent pour la première fois en 1776. La découverte de la composition de l'air par Lavoisier est de 1774.

Appert (1) appliqua à l'économie domestique les résultats des expériences de Spallanzani effectuées selon la méthode de Needham. Par exemple, l'une des expériences du savant Italien consiste à introduire des petits pois avec de l'eau dans un vase de verre que l'on ferme ensuite hermétiquement, après quoi on le maintient dans l'eau bouillante pendant trois quarts d'heure. C'est bien le procédé d'Appert. Or Gay-Lussac, voulant se rendre compte de ce procédé, le soumit à divers essais dont il consigna les résultats dans l'un de ses Mémoires le plus fréquemment cités (2).

Les extraits suivants du travail de Gay-Lussac ne laissent aucun doute sur l'une des opinions de l'illustre physicien, opinion qui a passé dans la science entière et incontestée.

« On peut se convaincre, dit Gay-Lussac, en analysant l'air des bouteilles dans lesquelles les substances bœuf, mouton, poisson, champignons, moût de raisin ont été bien conservées, qu'il ne contient plus d'oxygène, *et que l'absence de ce gaz est par conséquent une condition nécessaire pour la conservation des substances animales et végétales* (3). »

Les craintes de Needham sur une altération de l'air des vases dans les expériences de Spallanzani se trouvaient justifiées par ce fait de l'absence de l'oxygène dans les conserves d'Appert.

Mais une expérience du Dr Schwann vint apporter dans la question

1. Appert. L'art de conserver pendant plusieurs années toutes les substances animales et végétales. *Paris*, 1810, in-8° (fig.).

2. Gay-Lusssac. Extrait d'un mémoire sur la fermentation. *Annales de chimie*, LXXVI, 1810, p. 245-259. (*Notes de l'Édition.*

3. Gay-Lussac ajoute plus loin : « Lorsqu'on laisse l'urine en contact avec une petite quantité d'air, elle en absorbe l'oxygène assez promptement, et sa décomposition s'arrête ensuite; mais si on lui en donne une quantité suffisante, il se forme beaucoup de carbonate d'ammoniaque, et il se dépose presque toujours, avec le phosphate de chaux, du phosphate ammoniaco-magnésien. » [p. 253.]

C'est encore dans ce Mémoire de Gay-Lussac que l'on trouve l'expérience suivante, si souvent rappelée.

« J'ai pris du lait de vache et je l'ai exposé tous les jours ensuite à la température de l'ébullition de l'eau saturée de sel. Deux mois après, il était parfaitement conservé. » [p. 252.]

Ce travail de Gay-Lussac a exercé sur les esprits, dans la question qui nous occupe, une influence considérable.

Gay-Lussac trouve que l'air des conserves d'Appert est privé d'oxygène. Cela peut être après une longue durée de conservation des matières, ou lorsque la quantité des substances organiques est très grande par rapport au volume de l'air. Mes propres expériences serviront même à expliquer ce résultat. Mais certainement il n'est pas général, et dans tous les cas l'interprétation que Gay-Lussac donna à ce fait est erronée. *L'absence d'oxygène*, dit-il, *est une condition nécessaire pour la conservation des substances animales et végétales.* Cette opinion, qui eut une influence particulière sur les théories de la fermentation et des générations spontanées, n'était pas une conséquence obligée, comme le pensait Gay-Lussac, de ses observations sur la composition de l'air des conserves d'Appert.

un progrès très notable. Dans le mois de février 1837, M. Schwann[1] publia les faits suivants : Une infusion de chair musculaire est mise dans un ballon de verre; on ferme ensuite le ballon à la lampe, puis on l'expose tout entier à la température de l'eau bouillante, et, après son refroidissement, on l'abandonne à lui-même. Le liquide ne se putréfie pas. Jusque-là rien de bien nouveau. C'est l'une des expériences de Spallanzani, ou mieux une conserve d'Appert. Mais il était désirable, ajoute M. Schwann, de modifier l'essai de telle manière qu'un renouvellement de l'air devînt possible, avec cette condition toutefois que le nouvel air fût préalablement chauffé comme l'est celui du ballon à l'origine. Alors M. Schwann répète l'expérience précédente en adaptant au col du ballon un bouchon percé de deux trous traversés par des tubes de verre coudés et recourbés, de manière que leurs courbures soient plongées dans des bains d'alliage fusible entretenus à une température voisine de celle de l'ébullition du mercure. A l'aide d'un aspirateur on renouvelle l'air, qui arrive froid dans le ballon, mais après avoir été chauffé en passant dans la portion des tubes entourés d'alliage fusible. On commence l'expérience en faisant bouillir le liquide. Le résultat est le même que dans les expériences de Spallanzani et d'Appert. Il n'y a pas d'altération du liquide organique.

L'air chauffé, puis refroidi, laisse donc intact du jus de viande qui a été porté à l'ébullition. C'était là un grand progrès, parce que cela donnait gain de cause à Spallanzani contre Needham. Cela répondait à toutes les craintes de ce dernier sur l'altération possible de l'air dans les expériences de Spallanzani; cela détruisait enfin l'assertion de Gay-Lussac sur le rôle de l'oxygène dans les procédés de conserves d'Appert et dans la fermentation alcoolique.

Cependant sur ce dernier point il y avait des doutes à garder; en effet, dans ce même travail du Dr Schwann, outre l'expérience sur le bouillon de viande, laquelle touchait à la cause de la putréfaction, il y en a une autre relative à la fermentation alcoolique, et qu'il faut rappeler. L'auteur remplit quatre flacons d'une solution de sucre de canne mêlée à de la levûre de bière; puis, après les avoir bien bouchés, il les place dans l'eau bouillante, et les renverse ensuite sur la cuve à mercure. Après leur refroidissement, il y fait arriver de l'air, de l'air ordinaire dans deux d'entre eux, de l'air calciné dans les deux autres. Au bout d'un mois, il y eut fermen-

1. SCHWANN (Th.). Vorlaufige Mitteilung betreffend Versuche über Weingährung und Faulniss. *Annalen der Physik u. Chemie*, XLI, 1837, p. 184-193. (*Note de l'Édition.*)

tation dans les flacons qui avaient reçu l'air ordinaire; elle ne s'était pas encore manifestée dans les deux autres après deux mois d'attente. Mais en répétant ces expériences, je trouvai, dit-il, qu'elles ne réussissent pas toujours aussi bien, et que quelquefois la fermentation ne se déclare dans aucun des flacons, par exemple lorsqu'on les a maintenus trop longtemps dans l'eau bouillante, et quelquefois d'autre part le liquide fermente dans les flacons qui ont reçu de l'air calciné.

En résumé, l'expérience du Dr Schwann relative à la putréfaction du bouillon est très nette. Mais en ce qui concerne la fermentation alcoolique, la seule fermentation qui fût assez bien connue en 1837, à l'époque du travail de M. Schwann, les expériences du savant physiologiste étaient contradictoires, et cependant on venait d'apprendre, par les observations de M. Cagniard de Latour et par celles de M. Schwann lui-même, que la fermentation vineuse était déterminée par un ferment organisé.

Combien plus ces obscurités de la question, en ce qui touche la fermentation alcoolique, ne furent-elles pas accrues, lorsque, postérieurement, les chimistes étudièrent un grand nombre de fermentations où l'on n'avait pu découvrir aucun ferment organisé, et dont la cause était universellement attribuée à des actions de contact, à des phénomènes d'entraînement ou de mouvement communiqué produits par des matières azotées mortes en voie d'altération.

Quoi qu'il en soit, voici quelle fut la conclusion que le Dr Schwann déduisit des expériences que je viens de rapporter : « Pour la fermentation alcoolique, dit-il, comme pour la putréfaction, ce n'est pas l'oxygène, du moins l'oxygène seul de l'air atmosphérique, qui les occasionne, mais un principe renfermé dans l'air ordinaire, et que la chaleur peut détruire. »

La réserve de cette conclusion mérite d'être remarquée. On voit bien, par certains passages de son travail, que le docteur Schwann penchait à croire que, par la chaleur, il détruisait des germes; mais sa conclusion définitive ne pouvait aller et ne va pas jusque-là. Souvent, en rapportant ses expériences, les adversaires de la doctrine des générations spontanées ont affirmé que l'emploi de la chaleur n'avait d'autre but que de tuer des germes; mais ce n'était là qu'une hypothèse. Ainsi que le dit très bien le docteur Schwann, ces expériences prouvent seulement que ce n'est pas l'oxygène, ou du moins l'oxygène seul, qui est la cause de la putréfaction et de la fermentation vineuse, mais *quelque chose* d'inconnu que la chaleur détruit. Et encore pour la fermentation vineuse, il était mal établi qu'il fût indispensable de

recourir à une autre cause que celle qu'avait indiquée Gay-Lussac, savoir l'oxygène seul de l'air[1].

Les expériences du docteur Schwann ont été répétées et modifiées par plusieurs observateurs. MM. Ure et Helmholtz[2] ont confirmé ses résultats par des expériences analogues aux siennes. M. Schulze[3], au lieu de calciner l'air avant de le mettre au contact des conserves d'Appert, le fit passer à travers des réactifs chimiques : potasse et acide sulfurique concentrés. MM. Schrœder et von Dusch imaginèrent de filtrer l'air à travers du coton, au lieu de le modifier par une température élevée à la manière du docteur Schwann, ou par les réactifs chimiques énergiques, selon le procédé de M. Schulze[4].

Le premier mémoire de MM. Schrœder et von Dusch a paru en 1854, le second en 1859. Ce sont d'excellents travaux, qui ont, en outre, le mérite historique de montrer l'état de la question qui nous occupe à la date de 1859.

On savait depuis longtemps, et dès les premières discussions sur la génération spontanée, qu'une gaze fine, déjà employée avec tant de succès par Redi dans ses recherches sur l'origine des larves de la

1. *Voir* la Note de mon Mémoire sur la fermentation alcoolique, relative aux expériences de Gay-Lussac et de M. Schwann. *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., LVIII, 1860, p. 369 [p. 84-85 du présent volume].

2. URE. Versuche über die Gährung. *Journal für praktische Chemie*, XIX, 1840, p. 183-187. — HELMHOLTZ. Ueber das Wesen der Faulniss und Gährung. *Ibid.*, XXXI, 1844, p. 429-437. (*Note de l'Édition.*)

3. SCHULZE (Fr.). Vorläufige Mittheilung der Resultate einer experimentellen Beobachtung über Generatio aequivoca. *Annalen der Physik u. Chemie*, XXXIX, 1836, p. 487-489. (*Note de l'Édition.*)

4. Voici l'extrait publié dans les *Annales des sciences naturelles* [2e sér., VIII (partie zoologique), 1837, p. 320] sur les expériences de M. Schulze : « L'auteur remplit à moitié un flacon de cristal avec de l'eau distillée contenant diverses substances animales et végétales, puis boucha le vase à l'aide d'un bouchon traversé par deux tubes coudés, et soumit l'appareil ainsi disposé à la température de l'eau bouillante. Enfin, pendant que la vapeur s'échappait encore à travers les tubes dont nous venons de parler, il adapta à chacun d'eux un de ces petits appareils de Liebig, employés par les chimistes dans les analyses élémentaires des substances organiques, il remplit l'un d'acide sulfurique concentré, l'autre d'une solution concentrée de potasse. La température élevée avait dû nécessairement détruire tout ce qui était vivant, et tous les germes qui pouvaient se trouver dans l'intérieur du vase ou de ses ajustages, et la communication du dehors en dedans était interceptée par l'acide sulfurique d'un côté, la potasse de l'autre ; néanmoins, en aspirant par l'extrémité de l'appareil où se trouvait la solution de potasse, il était facile de renouveler l'air ainsi enfermé, et les nouvelles quantités de ce fluide qui s'introduisaient ne pouvaient porter avec elles aucun germe vivant, car elles étaient forcées de passer dans un bain d'acide sulfurique concentré. M. Schulze plaça l'appareil ainsi disposé sur une fenêtre, bien éclairé, à côté d'un vase ouvert, dans lequel il avait mis en infusion les mêmes substances organiques, puis il eut soin de renouveler l'air de son appareil plusieurs fois par jour pendant plus de deux mois, et d'examiner au microscope ce qui se passait dans l'infusion. Le vase ouvert se trouva bientôt rempli de vibrions et de monades auxquels s'ajoutèrent bientôt des infusoires polygastriques d'un plus grand volume, et même des rotateurs ; mais l'observation la plus attentive ne put faire découvrir la moindre trace d'infusoires, de conserves ou de moisissures dans l'infusion de l'appareil. »

viande en putréfaction, suffisait pour empêcher, ou tout au moins pour modifier singulièrement l'altération des infusions. Ce fait même était au nombre de ceux qu'invoquaient alors de préférence les adversaires de la doctrine de la spontéparité (1).

Guidés sans doute par ces faits, et surtout, comme ils le disent expressément, par les expériences ingénieuses de M. Lœwel (2) qui reconnut que l'air ordinaire était impropre à provoquer la cristallisation du sulfate de soude lorsqu'il avait été filtré sur du coton, MM. Schrœder et von Dusch (3) ont procédé de la manière suivante :

Un ballon de verre reçoit la matière organique. Le bouchon du ballon est traversé par deux tubes recourbés à angle droit : l'un de ces tubes communique avec un aspirateur à eau, l'autre avec un large tube de 1 pouce de diamètre et de 20 pouces de longueur rempli de coton. Lorsque les communications étaient bien établies, le robinet de l'aspirateur fermé, et la matière organique placée dans le ballon, on chauffait celle-ci jusqu'à cuisson, en maintenant l'ébullition un temps suffisant, pour que tous les tubes de communication fussent échauffés fortement par la vapeur d'eau ; alors on ouvrait le robinet de l'aspirateur que l'on entretenait jour et nuit.

Voici les résultats des premiers essais conduits de cette manière :

MM. Schrœder et von Dusch ont opéré :

1° Sur la viande avec addition d'eau,

2° Sur le moût de bière,

3° Sur le lait,

4° Sur la viande sans addition d'eau.

Dans les deux premiers cas, l'air filtré à travers le coton a laissé les liqueurs intactes, même après plusieurs semaines. Mais le lait s'est

1. Extrait d'un passage de l'ouvrage de Baker, membre de la Société Royale de Londres, ouvrage intitulé : « Le Microscope à la portée de tout le monde », traduit de l'anglais sur l'édition de 1743. *Paris*, 1754, in-8°.

« J'ai trouvé constamment que si l'infusion (de poivre, de foin) est couverte d'une mousseline ou d'une autre toile fine, il ne s'y produit que très peu d'animaux, mais que si l'on ôte cette couverture, elle est dans peu de jours pleine de vie... Comme les œufs de ces petites créatures sont moins pesants que l'air, il peut se faire qu'il en flotte continuellement des millions dans l'air, et que, étant portés indifféremment de tous les côtés, il en périsse un grand nombre dans les endroits qui ne conviennent pas à leur nature... Il y a des gens qui s'imaginent que les œufs de ces petits animaux sont logés dans le poivre, dans le foin, ou dans toutes les autres matières que l'on met dans l'eau ; mais si cela était, je ne saurais comprendre comment une si petite couverture d'une toile fine, qui n'empêche pas l'air de pénétrer, pourrait empêcher ces œufs d'éclore : on doit conclure que c'est là une illusion. » [p. 78.]

2. Lœwel (H.). Observations sur la sursaturation des dissolutions salines (Sulfate de soude). *Annales de chimie et de physique*, XXIX, 1850, p. 62-127 ; XXXIII, 1851, p. 334-390 ; et XXXVII, 1853, p. 155-180.

3. Schrœder (H.) et von Dusch (Th.). Ueber Filtration der Luft in Beziehung auf Fäulniss und Gahrung. *Annalen der Chemie u. Pharmacie*, LXXXIX, 1854, p. 232-243, et *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., XLI, 1854, p. 189-191. (*Notes de l'Édition.*)

caillé et pourri aussi promptement que dans l'air ordinaire, et la viande sans eau est entrée promptement en putréfaction.

« Il semble donc résulter de ces expériences, disent MM. Schrœder et von Dusch, qu'il y a des décompositions spontanées de substances organiques qui n'ont besoin pour commencer que de la présence du gaz oxygène ; par exemple, la putréfaction de la viande sans eau, la putréfaction de la caséine du lait et la transformation du sucre de lait en acide lactique (fermentation lactique). Mais à côté il y aurait d'autres phénomènes de putréfaction et de fermentation placés, à tort, dans la même catégorie que les précédents, tels que la putréfaction du jus de viande et la fermentation alcoolique, qui exigeraient pour commencer, outre l'oxygène, ces choses inconnues mêlées à l'air atmosphérique, qui sont détruites par la chaleur d'après les expériences de Schwann, et d'après les nôtres par la filtration de cet air à travers le coton....... Comme il reste ici encore tant de questions à décider par la voie de l'expérience, nous nous abstiendrons de déduire aucune conclusion théorique de nos expériences [1]. »

M. Schrœder revint seul sur ce sujet, en 1859, dans un Mémoire [2] qui traite, en outre, de la cause de la cristallisation. Ce nouveau travail ne conduisit pas davantage son auteur à des conclusions dégagées de toute incertitude ; il y fait connaître de nouveaux liquides organiques qui ne se putréfient pas lorsqu'on les met au contact de l'air filtré, tels que l'urine, la colle d'amidon et les divers matériaux du lait pris isolément ; mais il ajoute le jaune d'œuf à la liste des corps qui, comme le lait et la viande sans eau, se putréfient dans l'air filtré sur le coton.

« Je ne hasarderai pas, dit M. Schrœder, d'essayer l'explication théorique de ces faits. On pourrait admettre que l'air frais renferme une substance active qui provoque les phénomènes de fermentation alcoolique et de putréfaction, substance que la chaleur détruirait, ou que le coton arrêterait. » Puis il ajoute : « Faut-il regarder cette substance active comme formée de germes organisés microscopiques disséminés dans l'air ? Ou bien est-ce une substance chimique encore inconnue ? Je l'ignore. »

Puis il arrive aux phénomènes de cristallisation par l'air libre, par l'air chauffé ou par l'air filtré sur le coton, qui présentent de telles analogies, selon lui, avec les phénomènes de putréfaction, qu'il ne peut s'empêcher de les attribuer à une cause commune jusqu'ici entièrement inconnue.

1. SCHRŒDER (H.) et VON DUSCH (Th.), p. 242-243.

2. SCHRŒDER (H.). Ueber Filtration der Luft in Beziehung auf Fäulniss, Gährung und Kristallisation. *Annalen der Chemie u. Pharmacie*, CIX, 1859, p. 35-52. (*Notes de l'Édition.*)

« En ce qui concerne les cristallisations, dit-il encore, l'action *inductive* de l'air semble n'être pas complètement arrêtée par le coton, mais seulement affaiblie. Elle ne peut alors empêcher la cristallisation que de certaines dissolutions sursaturées; mais il en est d'autres qui ne peuvent lui résister (1). » Puis il remarque que les résultats qu'il a obtenus sur la putréfaction et la fermentation sont parallèles à ceux de la cristallisation, puisqu'il y a des corps qui résistent à l'air filtré, tandis que d'autres, tels que le lait, entrent en décomposition. L'air filtré sur le coton ne fait donc que perdre partiellement sa force *inductive* de putréfaction ou de fermentation.

J'ai, à dessein, résumé avec détails ces travaux très judicieux, parce qu'ils donnent l'expression exacte des difficultés qui, à la date de 1859, devaient assiéger tout esprit impartial, libre d'idées préconçues, et désireux de se former une opinion dûment motivée sur cette grave question des générations spontanées. On peut affirmer qu'à cette date tous ceux qui la croyaient résolue en connaissaient mal l'histoire.

Spallanzani n'avait pas triomphé des objections de Needham, et MM. Schwann, Schulze et Schrœder n'avaient fait que démontrer l'existence dans l'air atmosphérique d'un principe inconnu qui était la condition de la vie dans les infusions. Ceux qui affirmaient que ce principe n'était autre chose que des germes, n'avaient pas plus de preuves à l'appui de leur opinion, que ceux qui pensaient que cela pouvait être un gaz, un fluide, des miasmes, etc., et qui, par conséquent, inclinaient à croire aux générations spontanées. Les conclusions de MM. Schwann et Schrœder ne peuvent à cet égard laisser le moindre doute dans l'esprit du lecteur. Les termes mêmes de ces conclusions provoquaient au doute, et servaient la doctrine des générations spontanées. Et puis, les expériences de MM. Schwann, Schulze et Schrœder ne réussissaient que pour certains liquides. Bien plus, elles échouaient presque constamment et pour tous les liquides, comme je le dirai bientôt, lorsqu'on les pratiquait sur la cuve à mercure, sans que personne connût le motif de cet insuccès, ou pût y démêler quelque cause d'erreur.

Aussi lorsque (2), postérieurement aux travaux dont je viens de parler, un habile naturaliste de Rouen, M. Pouchet, membre corres-

1. Schrœder, p. 44 et 49.

2. Pouchet [Note sur des proto-organismes végétaux et animaux, nés spontanément dans de l'air artificiel et dans le gaz oxygène]. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLVII, 1858, p. 979-982. — Pouchet et Houzeau [Expériences sur les générations dites spontanées. Deuxième partie : Développement de certains proto-organismes dans de l'air artificiel]. *Ibid.*, p. 982-984.

Milne Edwards [Remarques sur la valeur des faits qui sont considérés par quelques natu-

pondant de l'Académie des sciences, vint annoncer à l'Académie des résultats sur lesquels il croyait pouvoir asseoir d'une manière définitive les principes de l'hétérogénie, personne ne sut indiquer la véritable cause d'erreur de ses expériences, et bientôt l'Académie, comprenant tout ce qui restait encore à faire, proposa pour sujet de prix la question suivante :

Essayer, par des expériences bien faites, de jeter un jour nouveau sur la question des générations spontanées [1].

La question paraissait alors si obscure que M. Biot, dont la bienveillance n'a jamais fait défaut à mes études, me voyait avec peine engagé dans ces recherches, et réclamait, de ma déférence à ses conseils, l'acceptation d'une limite de temps, au delà de laquelle j'abandonnerais ce sujet, si je n'étais pas maître des difficultés qui m'arrêtaient. M. Dumas, dont la bienveillance a souvent conspiré en ce qui me touche avec celle de M. Biot, me disait à la même époque : « Je ne conseillerais à personne de rester trop longtemps dans ce sujet. »

Quel besoin avais-je de m'y attacher?

Les chimistes ont découvert depuis vingt ans un ensemble de phénomènes vraiment extraordinaires, désignés sous le nom générique de *fermentations*. Tous exigent le concours de deux matières : l'une dite *fermentescible*, telle que le sucre; l'autre *azotée*, qui est toujours une substance albuminoïde. Or voici la théorie qui était universellement admise : les matières albuminoïdes éprouvent, lorsqu'elles ont été exposées au contact de l'air, une altération, une oxydation particulière, de nature inconnue, qui leur donne le caractère *ferment*, c'est-à-dire la propriété d'agir ensuite, par leur contact, sur les substances fermentescibles.

Il y avait bien un ferment, le plus ancien, le plus remarquable de tous, que l'on savait être organisé : la levûre de bière. Mais, comme dans toutes les fermentations de découverte plus moderne que la connaissance du fait de l'organisation de la levûre de bière (1836) on n'avait pu reconnaître l'existence d'êtres organisés, même en les y

ralistes comme étant propres à prouver l'existence de la génération spontanée des animaux (*Ibid.*, XLVIII, 1859, p. 23-29; suivies d'observations par M. Payen, p. 30; par M. de Quatrefages, p. 30-33; par M. Claude Bernard, p. 33-34; et par M. Dumas, p. 35-36.

Pouchet. *Ibid.*, XLVIII, 1859, p. 148, 220, 546; L, 1860, p. 532, 572, 748, 1121.

1. La Commission était composée de MM. Geoffroy-Saint-Hilaire, Brongniart, Milne Edwards, Serres, Flourens rapporteur.

« La Commission demande des expériences précises, rigoureuses, également étudiées dans toutes leurs circonstances, et telles, en un mot, qu'il puisse en être déduit quelque résultat dégagé de toute confusion née des expériences mêmes. » [*Ibid.*, séance du 30 janvier 1860, L, p. 248.]

Tel était le programme de la Commission. On ne pouvait mieux indiquer les difficultés du sujet.

recherchant avec soin, les physiologistes avaient abandonné peu à peu, plusieurs bien à regret, l'hypothèse de M. Cagniard de Latour d'une relation probable entre l'organisation de ce ferment et sa propriété d'être ferment, et l'on appliquait à la levûre de bière la théorie générale en disant : « Ce n'est pas parce qu'elle est organisée, que la levûre de bière est active, c'est parce qu'elle a été au contact de l'air. C'est la portion morte de la levûre, celle qui a vécu et qui est en voie d'altération qui agit sur le sucre. »

Mes études me conduisaient à des conclusions entièrement différentes. Je trouvais que toutes les fermentations proprement dites, visqueuse, lactique, butyrique, la fermentation de l'acide tartrique, de l'acide malique, de l'urée....., étaient toujours corrélatives de la présence et de la multiplication d'êtres organisés. Et, loin que l'organisation de la levûre de bière fût une chose gênante pour la théorie de la fermentation, c'était par là, au contraire, qu'elle rentrait dans la loi commune, et qu'elle était le type de tous les ferments proprement dits. Selon moi, les matières albuminoïdes n'étaient jamais des ferments, mais l'aliment des ferments. Les vrais ferments étaient des êtres organisés.

Cela posé, les ferments prennent naissance, on le savait, par le fait du contact des matières albuminoïdes et du gaz oxygène. Dès lors, de deux choses l'une, me disais-je : les ferments des fermentations proprement dites étant organisés, si l'oxygène seul, en tant qu'oxygène, leur donne naissance, par son contact avec les matières azotées, ces ferments sont des générations spontanées ; si ces ferments ne sont pas des êtres spontanés, ce n'est pas en tant qu'oxygène seul que ce gaz intervient dans leur formation, mais comme excitant d'un germe apporté en même temps que lui, ou existant dans les matières azotées ou fermentescibles. Au point où je me trouvais de mes études sur les fermentations, je devais donc me former une opinion sur la question des générations spontanées. J'y rencontrerais peut-être une arme puissante en faveur de mes idées sur les fermentations proprement dites.

Les recherches dont j'ai maintenant à rendre compte n'ont été par conséquent qu'une digression obligée de mes études sur les fermentations.

C'est ainsi que je fus conduit à m'occuper d'un sujet qui jusque-là n'avait exercé que la sagacité des naturalistes.

CHAPITRE II

Examen au microscope des particules solides disséminées dans l'air atmosphérique.

Mon premier soin fut de rechercher une méthode qui permît de recueillir en toute saison les particules solides qui flottent dans l'air et de les étudier au microscope. Il fallait s'attacher d'abord à lever, s'il était possible, les objections que les partisans de la génération spontanée opposent à l'ancienne hypothèse de la dissémination aérienne des germes (1).

Lorsque les matières organiques des infusions ont été chauffées, elles se peuplent d'infusoires ou de moisissures. Ces productions organisées ne sont en général ni aussi nombreuses, ni aussi variées que si l'on n'avait pas préalablement porté les liqueurs à l'ébullition, mais il s'en forme toujours. Or, leurs germes, dans ces conditions, ne peuvent venir que de l'air, parce que l'ébullition détruit ceux que les vases ou les matières de l'infusion ont apportés dans la liqueur. Les premières questions expérimentales à résoudre sont donc celles-ci : Y a-t-il des germes dans l'air? Y en a-t-il en assez grand nombre pour expliquer l'apparition des productions organisées des infusions qui ont été chauffées préalablement? Peut-on se faire une idée approchée du rapport à établir entre un volume déterminé d'air ordinaire et le nombre des germes que ce volume d'air peut renfermer?

Et d'abord existe-t-il des germes dans l'air? Personne ne le nie, parce que l'on comprend qu'il ne peut pas en être autrement. L'un des partisans les plus déclarés de la doctrine des générations spontanées, M. Pouchet, s'exprime de la manière suivante (2) :

« On rencontre parfois dans la poussière quelques œufs de microzoaires, comme on y rencontre une foule de corpuscules légers, mais c'est une véritable exception. »

Plus loin, M. Pouchet s'exprime ainsi :

« Parmi les corpuscules de poussière qui appartiennent au règne végétal, il y a des *spores de cryptogames, mais en fort petit nombre*. Enfin j'ai constamment rencontré une certaine quantité de fécule de blé mêlée à la poussière soit récente, soit ancienne... Il est évident

1. Cette hypothèse est en effet très ancienne. Elle forme le sujet ordinaire des discussions relatives à la génération spontanée depuis le XVIIe siècle.

2. Pouchet. Hétérogénie, ou Traité de la génération spontanée. *Paris*, 1859, in-8°, p. 432 et p. 439.

que c'est cette fécule, parfaitement caractérisée physiquement et chimiquement, ou que ce sont des grains de silice que l'on a pris pour des œufs de microzoaires » (1).

Il y a donc dans la poussière de l'air des œufs d'infusoires et des spores de moisissures; les partisans de la doctrine de l'hétérogénie l'affirment; mais ils ajoutent qu'il n'y en a qu'exceptionnellement, en nombre excessivement restreint, et ceux qui, disent-ils, ont cru en voir davantage se sont trompés. Ils ignoraient un fait récent, à savoir qu'il y a des grains de fécule de diverses tailles dans la poussière (2). Ces observateurs ont pris pour des œufs ou des spores ces grains de fécule, qui souvent leur ressemblent tant.

Telle est l'opinion de M. Pouchet. Je n'ai pas fait assez d'observations sur la poussière ordinaire déposée à la surface des objets, pour que je puisse infirmer cette manière de voir au sujet de la poussière au repos. Je puis même ajouter qu'à l'époque où je fis mes premières expériences, diverses personnes très autorisées étaient désireuses de constater par elles-mêmes l'exactitude de mes résultats, parce que, me disaient-elles, ayant eu l'occasion assez fréquente d'étudier des poussières, elles n'y avaient pas vu de spores. Mais ici se présente une remarque : la poussière que l'on trouve à la surface de tous les corps est soumise constamment à des courants d'air qui doivent soulever ses particules les plus légères, au nombre desquelles se trouvent, sans doute, de préférence les corpuscules organisés, œufs ou spores, moins lourds généralement que les particules minérales. En outre, en ce qui concerne la poussière ordinaire au repos, il n'est pas possible d'avoir une indication sur le rapport approché qui peut exister entre un volume donné de cette poussière et le volume d'air qui l'a fournie. Ce n'est donc pas la poussière au repos qu'il faut observer, mais bien celle qui est en suspension dans l'air.

Voyons si cela est réalisable, et s'il est vrai que cette poussière flottante ne renferme qu'exceptionnellement des germes d'organismes inférieurs, ainsi que cela arrive, d'après M. Pouchet, pour la poussière au repos.

Le procédé que j'ai suivi pour recueillir la poussière en suspension dans l'air et l'examiner au microscope est d'une grande simplicité; il consiste à filtrer un volume d'air déterminé sur du coton-poudre, soluble dans un mélange d'alcool et d'éther. Les fibres du coton

1. *Voir* DE QUATREFAGES. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLVIII, 1859, p. 30-33. Et *Dictionnaire de Nysten*, par Littré et Ch. Robin, article POUSSIÈRE, onzième édition, 1858.

2. Ce fait, reconnu pour la première fois, je pense, par M. Pouchet, est très exact.

arrêtent les particules solides. On traite alors le coton par son dissolvant. Après un repos suffisamment prolongé, toutes les particules solides tombent au fond de la liqueur ; on les soumet à quelques lavages, puis on les dépose sur le porte-objet du microscope, où leur étude devient facile.

Je vais entrer dans les détails de l'expérience : FF, fig. 1, est un châssis de fenêtre, dans lequel j'avais pratiqué, à une distance de

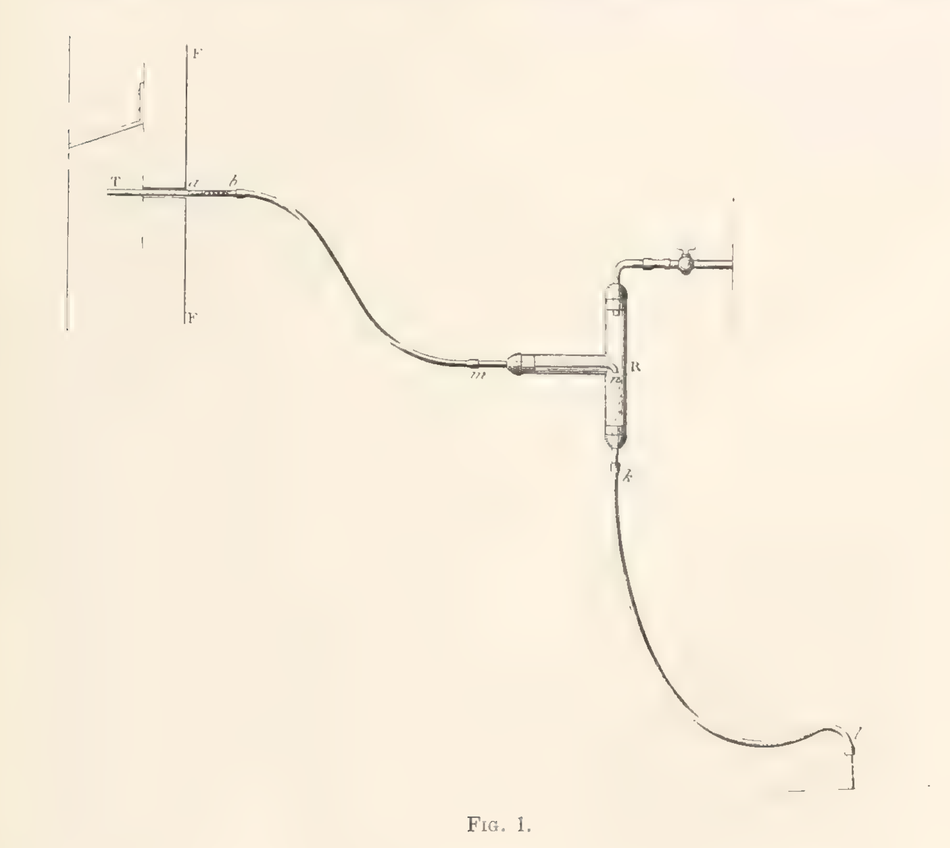


Fig. 1.

plusieurs mètres du sol, une ouverture donnant passage au tube de verre T. Ce tube n'avait dans mes expériences qu'un demi-centimètre de diamètre. En *a* se trouve une bourre de coton soluble, sur une longueur d'un centimètre environ, retenue par une petite spirale en fil de platine. L'air, qui était ordinairement aspiré du côté de la rue d'Ulm ou du côté du jardin de l'École normale, se trouvait appelé par l'aspirateur R. C'est un tube de laiton en forme de T, dans lequel s'écoule constamment de l'eau qui, par succion, entraîne l'air du tube *mn*, un peu recourbé à son extrémité *n*, comme l'indique la figure. Le tube *mn* communique d'ailleurs par un tube de caoutchouc au tube T renfer-

mant la bourre de coton soluble. Si l'on veut déterminer le volume d'air entraîné par l'écoulement de l'eau, il suffit d'engager l'extrémité l du tube kl sous un grand flacon renversé plein d'eau, jaugé à l'avance, et de mesurer le temps que ce flacon, d'un volume de 10 litres par exemple, mettra à se remplir.

Ce mode d'aspiration continue est très commode et m'a rendu beaucoup de services.

Lorsque l'air a passé pendant un temps suffisant, la bourre de coton, plus ou moins salie par les poussières qu'elle a arrêtées, est déposée dans un petit tube avec le mélange alcoolique éthéré qui dissout le coton. On laisse reposer pendant un jour. Toutes les poussières se rassemblent au fond du tube, où il est facile de les laver par décantation, sans aucune perte, si l'on a soin de séparer chaque lavage par un repos de douze à vingt heures. Pour décanter le liquide, il est bon de se servir d'un siphon formé par un tube de très petit diamètre, et pouvant s'amorcer par aspiration.

Lorsque le lavage des poussières est suffisant, on les rassemble dans un verre de montre où le restant du liquide qui les baigne s'évapore promptement [1] ; alors on les délaye dans un peu d'eau, et on les examine au microscope.

On peut faire agir sur elles, suivant les méthodes ordinaires, différents réactifs : l'eau d'iode, la potasse, l'acide sulfurique, les matières colorantes.

Ces manipulations fort simples permettent de reconnaître qu'il y a constamment dans l'air commun un nombre variable de corpuscules, dont la forme et la structure annoncent qu'ils sont organisés. Leurs dimensions s'élèvent depuis les plus petits diamètres jusqu'à $\frac{1}{100}$ à $\frac{1,5}{100}$ et davantage de millimètre. Les uns sont parfaitement sphériques, les autres ovoïdes. Leurs contours sont plus ou moins nettement accusés. Beaucoup sont tout à fait translucides, mais il y en a aussi d'opaques avec granulations à l'intérieur. Ceux qui sont translucides, à contours nets, ressemblent tellement aux spores des moisissures les plus communes, que le plus habile micrographe ne pourrait y voir de différence. C'est tout ce que l'on peut en dire, comme on peut affirmer seulement que, parmi les autres, il y en a qui ressemblent à des infusoires en boule, enkystés, et généralement aux globules que l'on regarde comme étant les œufs de ces petits êtres. Mais quant à affirmer que ceci est une spore, bien plus, la spore de telle espèce déterminée, et que cela est un œuf et l'œuf de tel microzoaire, je crois que cela n'est pas possible. Je me

1. Le lavage est suffisant après cinq ou six décantations. Il faut se servir de coton-poudre dont la solubilité soit aussi parfaite que possible.

bourne, en ce qui me concerne, à déclarer que ces corpuscules sont évidemment organisés, ressemblant de tout point aux germes des organismes les plus inférieurs, et si divers de volume et de structure qu'ils appartiennent sans conteste à des espèces fort nombreuses.

L'emploi de l'eau d'iode montre de la manière la moins équivoque que, parmi ces corpuscules, il y a toujours des granules d'amidon. Mais il est bien facile d'éliminer tous les globules de cette sorte en délayant la poussière dans l'acide sulfurique ordinaire, qui dissout en quelques instants tout ce qui est amidon. Sans doute, l'acide sulfurique altère et dissout peut-être d'autres globules ; mais il en reste encore un grand nombre, et quelquefois même on en distingue davantage après l'action de l'acide sulfurique, parce que cet acide dissout le carbonate de chaux et délaye les autres particules de poussière, de façon que beaucoup de corpuscules organisés se trouvent dégagés des débris amorphes qui empêchent souvent de les bien voir. Il est bon d'observer aussitôt après que les petites bulles d'acide carbonique se sont dissipées, et avant que les aiguilles de sulfate de chaux se soient déposées[1].

En opérant sur la poussière d'une bourre de 1 centimètre de longueur sur $\frac{1}{2}$ centimètre de diamètre exposée au courant d'air pendant vingt-quatre heures, avec un écoulement d'un litre par minute, on découvre et on peut dessiner facilement vingt à trente corpuscules organisés en un quart d'heure. Il y en a ordinairement plusieurs dans le champ. Notons que la goutte d'acide mêlée de poussière, que l'on place sur le porte-objet du microscope, ne représente qu'une fraction de celle qui est dans le verre de montre.

D'autre part, il faudrait évidemment plusieurs heures pour rechercher et dessiner au fur et à mesure tous les corpuscules organisés de cette goutte. On voit donc que le nombre des corpuscules organisés que l'on fixe par cette méthode sur les filaments de coton est fort sensible comparativement au volume d'air[2] ; sans doute, il n'est pas suffisant, pour justifier cette assertion généralement admise, que la plus petite bulle d'air commun est capable de faire naître dans une infusion toutes les espèces d'infusoires et toutes les cryptogames propres à cette infusion. Mais nous verrons dans un chapitre subséquent que cette

1. J'ai reconnu, par des épreuves directes, que l'acide sulfurique concentré ordinaire ne dissolvait pas les spores des moisissures communes, même par un contact prolongé.

2. Je n'ai pas besoin de dire que je me suis assuré que le coton que j'employais ne renfermait pas du tout de corpuscules organisés, et que sa dissolution dans le mélange alcoolique ne laissait d'autre résidu que quelques fibres non dissoutes.

Je dois faire observer en outre que, sous une épaisseur d'un centimètre, une bourre de coton est loin d'arrêter tous les corpuscules de l'air. Si l'on place plusieurs bourres à la suite les unes des autres, la seconde, la troisième... se couvrent de poussière ; seulement, il faut, pour les charger à l'égal de la première, d'autant plus de temps qu'elles en sont plus éloignées.

opinion est fort exagérée, et que l'on peut toujours mettre en contact avec une infusion qui a été portée à l'ébullition un volume d'air ordinaire considérable, sans qu'il s'y développe la moindre production organisée.

Je vais entrer dans quelques détails, afin que l'on ait une idée un peu plus nette du nombre des corpuscules organisés que l'on découvre dans la poussière recueillie comme je viens de le dire.

Les figures 2, 3 et 4 représentent quelques corpuscules organisés d'un échantillon de poussière recueillie en vingt-quatre heures, du

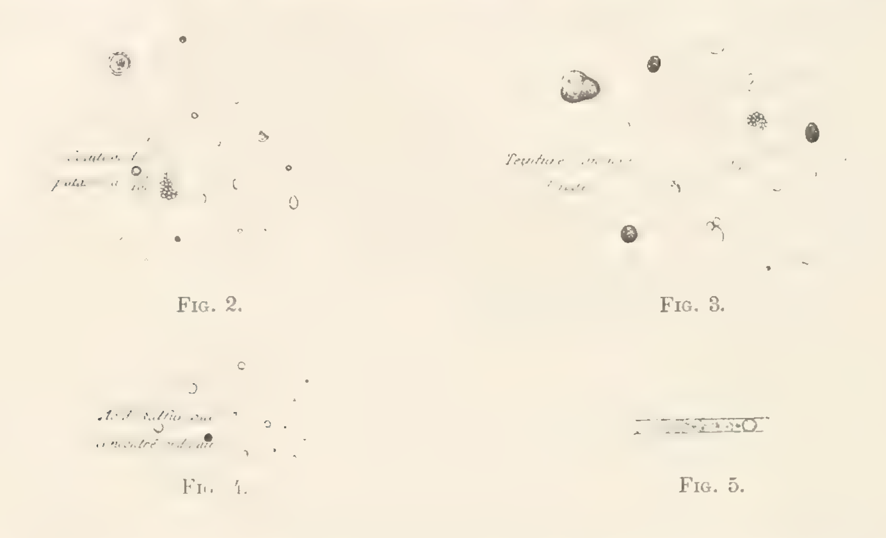


Fig. 2. Fig. 3.

Fig. 4. Fig. 5.

16 au 17 novembre 1859. Voici comment ces dessins rapides, qui ne donnent que le volume et le contour des corpuscules, ont été faits :

Après que le lavage de la poussière eut été effectué comme je l'ai indiqué tout à l'heure, j'ai pris dans le verre de montre une partie de la poussière, et je l'ai délayée dans une goutte de solution de potasse, renfermant 5 parties de potasse pour 100 d'eau. Au fur et à mesure que je déplaçais la lame de verre sous l'objectif, et que j'apercevais un globule évidemment organisé, je le dessinais. C'est ainsi que la figure 2 a été obtenue. Il en a été de même pour les suivantes.

J'ai alors remplacé la potasse par de la teinture aqueuse d'iode. Il suffit pour cela de placer au contact avec le bord de la lame de verre un petit carré de papier buvard, que l'on recouvre d'un second, d'un troisième papier semblable, et ainsi de suite jusqu'à ce que toute la solution de potasse soit absorbée. On la remplace alors par une goutte d'eau iodée, que l'on enlève par le même moyen pour y substituer une nouvelle goutte de cette teinture. On continue ainsi jusqu'à ce que la potasse restant sous la lame de verre soit entièrement neutralisée.

La figure 3 représente une partie des globules en contact de la teinture aqueuse d'iode. Enfin la figure 4 donne le dessin des globules examinés, après que l'eau d'iode fut remplacée par l'acide sulfurique ordinaire.

La distance des deux parallèles de la figure 5 représente $\frac{1}{100}$ de millimètre au grossissement employé dans l'expérience.

J'ajouterai que j'ai mis une heure et demie à faire les dessins des globules et les expériences de substitutions de réactifs les uns aux autres. Cela donnera au lecteur une première indication sur le nombre des corpuscules organisés que l'on peut arrêter en vingt-quatre heures en faisant passer sur une petite bourre de coton environ 1500 litres d'air pris dans une rue de Paris peu fréquentée, et à une distance de 3 à 4 mètres au-dessus de la surface du sol [1]. On peut avoir une idée bien plus exacte du nombre des corpuscules, que leur forme et leur volume permettent de dire organisés, par la détermination du nombre moyen de ces corpuscules contenus dans le champ du microscope, et par la connaissance du rapport des surfaces de la goutte étalée sous la petite lame de verre qui la recouvre, et du champ du microscope, pour le grossissement que l'on emploie. Le nombre total des corpuscules de la goutte sera égal au rapport dont nous parlons, multiplié par le nombre moyen des corpuscules compris dans un champ quelconque. On arrive ainsi à reconnaître qu'une petite bourre de coton exposée pendant vingt-quatre heures au courant d'air de la rue d'Ulm, pris à quelques mètres du sol, pendant l'été, après une succession de beaux jours, rassemble plusieurs milliers de corpuscules organisés pour une aspiration d'un litre d'air environ par minute. Du reste, ce résultat varie infiniment avec l'état de l'atmosphère, si l'on opère avant ou après la pluie, par un temps calme ou agité, de jour ou pendant la nuit, à une petite ou à une grande distance du sol. Enfin que l'on imagine toutes les mille et une causes qui peuvent augmenter ou diminuer le nombre de ces particules solides que tout le monde a aperçues dans un rayon de soleil qui pénètre dans une chambre obscure, et l'on com-

1. Postérieurement à l'emploi de la méthode que je viens de décrire et dans le but de réfuter les résultats que j'en avais obtenus, M. Pouchet a examiné la poussière que la neige abandonne après sa fusion, moyen déjà mis en pratique par M. de Quatrefages et par M. Boussingault (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLVIII, 1859, p. 31). « La neige, dit M. Pouchet, fut recueillie dans une grande cour carrée. On en prit seulement la couche superficielle dans une épaisseur de 5 centimètres environ, et sur une étendue de 4 mètres carrés. » [Corps organisés recueillis dans l'air par la neige. *Ibid.*, L, 1860, p. 532.]

Je n'ai pas étudié la poussière de l'air en faisant fondre de la neige, et j'ignore si cette méthode vaut celle que j'ai suivie. Dans tous les cas, il est évident qu'il faudrait étudier la première neige tombée, la couche du fond et non la couche de la surface. Car si la neige peut entraîner les poussières de l'air, c'est la première tombée qui se chargera de cet office

prendra tout ce qu'il doit y avoir de changements dans les résultats qui précèdent.

La méthode dont je viens de parler pour recueillir les poussières qui sont en suspension dans l'air ordinaire, et les examiner ensuite au microscope, est évidemment susceptible d'être modifiée utilement[1].

Je crois qu'il y aurait un grand intérêt à multiplier les études sur ce sujet, et à comparer dans un même lieu avec les saisons, dans des lieux différents à une même époque, les corpuscules organisés disséminés dans l'atmosphère. Il semble que les phénomènes de contagion

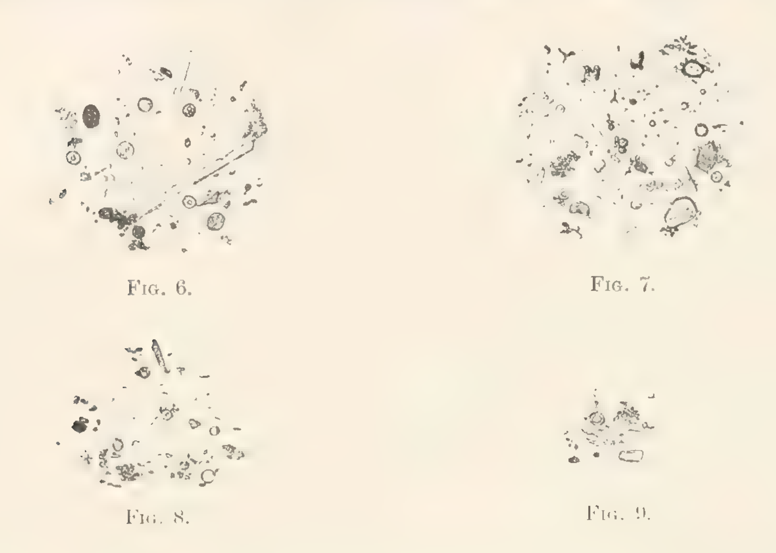


Fig. 6. Fig. 7. Fig. 8. Fig. 9.

morbide, surtout aux époques où sévissent des maladies épidémiques, gagneraient à des travaux poursuivis dans cette direction.

Les figures 6, 7, 8, 9 représentent des corpuscules organisés associés à des particules amorphes, tels qu'ils s'offrent au microscope pour un grossissement de 350 diamètres ; le liquide délayant était l'acide sulfurique ordinaire.

La figure 6 s'applique à des poussières recueillies du 25 au 26 juin 1860 ; la figure 7 à des poussières du brouillard très intense du mois de février 1861 ; la figure 8 à des poussières recueillies du 17 au

1. Ne serait-il pas possible de remplacer le coton par une bourre de fils formés par un borate soluble, étiré à chaud, voire même par du sucre d'orge réduit en fils soyeux ?

J'essaye en ce moment l'emploi d'un tube thermométrique de gros calibre où l'on a soufflé à des distances rapprochées une suite de renflements. En introduisant dans ce tube quelques gouttes d'un liquide visqueux ou d'huile, le liquide s'arrête dans les étranglements, et si l'on fait passer de l'air, les ménisques des étranglements se reforment après le passage de chaque bulle de gaz, qui se trouve ainsi lavé un grand nombre de fois par une quantité de liquide adhésif très minime. M. Jamin a utilisé des tubes de cette nature dans quelques-unes de ses curieuses expériences sur la capillarité. C'est ce qui m'a suggéré l'idée de l'emploi de pareils tubes, dont je ne peux cependant pas juger encore l'efficacité.

19 décembre 1859 par un froid de — 9 à — 14°; enfin la figure 9 à des poussières d'une bourre qui était précédée d'une autre, afin de montrer qu'une première bourre n'arrête pas toutes les poussières qui sont en suspension dans l'air. Cependant il faut remarquer que les poussières étaient ici en très petit nombre, et qu'il fallait plusieurs fois changer de champ pour apercevoir un corpuscule organisé, tandis que dans les cas ordinaires il y a le plus souvent un ou plusieurs corpuscules organisés dans un champ quelconque.

CHAPITRE III

Des expériences avec l'air calciné.

Nous venons de voir qu'il y a toujours en suspension dans l'air des corpuscules organisés, qui, par leur forme, leur volume et leur structure apparente, ne sauraient être distingués des germes des organismes inférieurs, et le nombre en est grand sans avoir rien d'exagéré. Y a-t-il réellement parmi eux des germes féconds [1] ? Voilà la question vraiment intéressante; je crois être arrivé à le démontrer d'une manière certaine. Mais avant d'exposer les expériences qui se rapportent plus particulièrement à cette partie du sujet, il est indispensable de rechercher premièrement si les faits annoncés par le Dr Schwann sur l'inactivité de l'air qui a été rougi sont exacts. MM. Pouchet, Mantegazza, Joly et Musset le contestent. Essayons de voir de quel côté est la vérité ; aussi bien ce sera la base de nos recherches ultérieures.

Dans un ballon de 250 à 300 centimètres cubes, j'introduis 100 à 150 centimètres cubes d'une eau sucrée albumineuse, formée dans les proportions suivantes :

Eau	100
Sucre	10
Matières albuminoïdes et minérales provenant de la levûre de bière	0,2 à 0,7.

1. Ce qu'il y aurait de mieux à faire et de plus direct consisterait à suivre au microscope le développement de ces germes. Tel était mon projet; mais l'appareil que j'avais fait construire pour cet objet ne m'ayant pas été livré en temps opportun, j'ai été éloigné de cette étude par d'autres travaux. Du reste, il ne faut pas se dissimuler la difficulté de cette méthode d'observation. Rien de plus simple que de déposer les spores d'une mucédinée dans un liquide propre à les nourrir, d'en prélever quelques-unes le lendemain ou le surlendemain, et de voir que plusieurs ont germé et ont déjà poussé de longs appendices. Mais autre chose est d'opérer sur une seule spore, qu'il faudra retrouver sous le microscope à une place déterminée, tout en lui fournissant de l'eau pour remplacer celle qui s'évapore sur les bords de la lame de verre, etc... Et puis les très petits infusoires, bacteriums et monades, se montrent promptement, prennent l'air, et la spore privée d'un de ses aliments essentiels ne se développe pas. J'espère revenir prochainement sur cette partie de mon travail.

Le col effilé du ballon communique avec un tube de platine chauffé au rouge, comme l'indique la figure 10. On fait bouillir le liquide pendant deux à trois minutes, puis on le laisse refroidir complètement. Il se remplit d'air ordinaire à la pression de l'atmosphère, mais dont toutes les parties ont été portées au rouge; puis on ferme à la lampe le col du ballon, qui a alors la forme indiquée par la figure 11.

Le ballon ainsi préparé est placé dans une étuve à une température constante voisine de 30°; il peut s'y conserver indéfiniment, sans que le liquide qu'il renferme éprouve la moindre altération. Sa limpidité, son

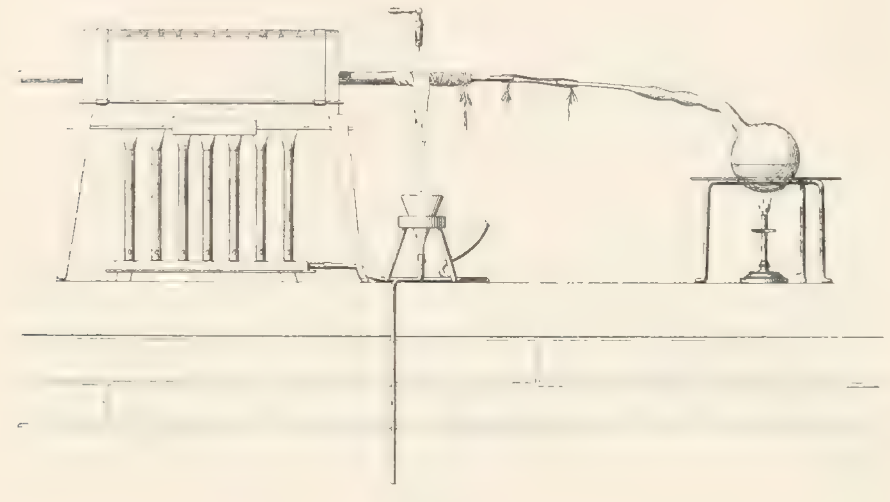


Fig. 10.

odeur, son caractère d'acidité très faible, à peine appréciable au papier de tournesol bleu, persistent sans changement appréciable. Sa couleur se fonce légèrement avec le temps, sans doute sous l'influence d'une oxydation directe de la matière albuminoïde ou du sucre [1].

J'affirme avec la plus parfaite sincérité que jamais il ne m'est arrivé d'avoir une seule expérience, disposée comme je viens de le dire, qui m'ait donné un résultat douteux. L'eau de levûre sucrée portée à

1. Cette oxydation directe est indiquée par l'analyse suivante, effectuée sur l'air d'un ballon rempli aux $\frac{2}{5}$ d'eau de levûre sucrée, et qui était resté à l'étuve du 12 février au 18 avril 1860.

Acide carbonique	0,9
Oxygène	19,5
Azote par différence	79,6
	100,0.

Le volume de l'acide carbonique est moindre que le volume d'oxygène qui a disparu. Cela peut tenir aux différences des coefficients de solubilité de ces gaz. Quant à la limpidité du liquide, elle était parfaite.

Toutes les analyses de gaz contenues dans ce Mémoire ont été faites avec l'eudiomètre de M. Regnault.

l'ébullition pendant deux ou trois minutes, puis mise en présence de l'air qui a été rougi, ne s'altère donc pas du tout [1], même après dix-huit mois de séjour à une température de 25° à 30°, tandis que si on l'abandonne à l'air ordinaire, après un jour ou deux, elle est en voie d'altération manifeste, et se trouve remplie de bacteriums, de vibrions, ou couverte de mucors.

L'expérience du Dr Schwann appliquée à l'eau de levûre sucrée est par conséquent d'une exactitude irréprochable.

Comment se fait-il néanmoins que plusieurs observateurs, MM. Pouchet, Mantegazza et Schwann lui-même, soient arrivés à des résultats contradictoires? J'ajoute que le Dr Schwann lui-même n'a pas toujours réussi dans ses expériences sur l'inactivité de l'air calciné; en effet, nous



Fig. 11.

avons vu dans la première partie du présent Mémoire, où j'ai résumé le travail de ce savant, que ses expériences sur la fermentation alcoolique avaient souvent donné des résultats opposés à ceux qu'il espérait, sans qu'il eût pu d'ailleurs reconnaître les causes d'erreur présumées de ces résultats.

Moi-même, dans des expériences inédites, j'étais arrivé à cette conséquence, que les expériences faites avec l'air calciné ne réussissaient qu'exceptionnellement. Je vais en rapporter quelques-unes.

Le 9 août 1857, je prépare comme il suit plusieurs ballons d'un quart de litre de capacité. Dans chacun d'eux, je place 80 centimètres cubes d'eau de levûre de bière sucrée très limpide, renfermant par litre 100 grammes de sucre et 3 grammes de matières azotée et minérale empruntées aux principes solubles de la levûre. J'étire à la lampe le col des ballons, puis je porte le liquide à l'ébullition, et je ferme ensuite la pointe effilée par un trait de chalumeau pendant l'ébullition, maintenue préalablement de deux à quatre minutes. Je renverse ensuite

1. J'ai certainement eu l'occasion de répéter plus de cinquante fois l'expérience, et, dans aucun cas, cette liqueur, si altérable, n'a donné vestige de productions organisées, en présence de l'air calciné.

successivement chaque ballon dans la cuve à mercure, au fond de laquelle je brise leurs pointes; alors j'introduis dans le premier ballon environ 70 centimètres cubes d'oxygène préparé avec le chlorate de potasse, et conduit dans un tube de porcelaine chauffé au rouge avant d'entrer dans le ballon. Dans le deuxième ballon, je fais arriver 50 centimètres cubes d'oxygène provenant de la décomposition de l'eau par la pile, et de production toute récente. Dans le troisième et le quatrième ballons, je fais passer de 50 à 60 centimètres cubes d'air ordinaire sortant d'un tube de porcelaine chauffé au rouge. Enfin, dans un cinquième ballon, j'introduis 50 centimètres cubes d'air ordinaire non chauffé. Je porte ensuite les cinq ballons dans une étuve à la température constante de 25° à 30°, renversés sur le mercure dans des verres à pied.

Le 13 août, il y a des productions organisées *dans tous les ballons*. Le liquide du premier était tout trouble, laiteux, par la présence d'une torulacée en granulations très ténues réunies en chapelets. Le deuxième ballon est tombé dans la nuit du 15 au 16 août, parce qu'il s'est rempli de gaz par fermentation. Une étude microscopique des portions de liquide restées dans le verre y a fait reconnaître des globules de levûre de bière. Les ballons 3, 4 et 5 offraient des touffes de moisissure flottant dans un liquide limpide.

En résumé, j'obtenais des résultats directement contraires à ceux du Dr Schwann. Des mucédinées, des torulacées pouvaient naître en présence de l'air calciné, dans des liquides qui avaient été soumis à l'ébullition.

Je ne publiai pas ces expériences; les conséquences qu'il fallait en déduire étaient trop graves pour que je n'eusse pas la crainte de quelque cause d'erreur cachée, malgré le soin que j'avais mis à les rendre irréprochables. J'ai réussi, en effet, plus tard à reconnaître cette cause d'erreur.

Quoi qu'il en soit, les choses étaient telles, à cette époque, qu'un observateur, répétant de bonne foi sur la cuve à mercure les expériences de Needham, de Spallanzani et d'Appert, avec la modification indiquée par le Dr Schwann, arrivait à des conséquences tout à fait favorables à la doctrine des générations spontanées, sans qu'il fût possible de signaler la véritable cause d'erreur de ces expériences. On pouvait croire seulement qu'il était très difficile de ne pas laisser s'introduire dans les vases une petite quantité d'air ordinaire. Mais, outre que cette crainte était exagérée, on verra par la suite que ce n'est pas du tout en cela que consistait l'inexactitude de la méthode.

Dans toutes ces expériences, comme dans celles du Dr Schwann qui

avaient été contraires au résultat de sa première expérience sur le bouillon de viande, c'est le mercure qui avait introduit les germes dans les liqueurs. J'en donnerai ultérieurement des preuves convaincantes. Mais nous pouvons remarquer dès à présent que le mercure d'une cuve de laboratoire est constamment exposé à recevoir les poussières de l'air, et que ce liquide doit recéler par conséquent une multitude de ces corpuscules organisés, que nous avons appris à étudier dans le chapitre précédent. Leur légèreté spécifique ne serait suffisante pour les amener à la surface que s'ils avaient un volume sensible. D'ailleurs, n'y aurait-il de ces corpuscules qu'à la surface du mercure, il ne serait pas possible de les éviter dans les manipulations. Que l'on dépose, en effet, des poussières sur le mercure et qu'on y enfonce ensuite un tube de verre, une éprouvette, un vase quelconque, on verra les poussières de la surface s'engager peu à peu dans la gaine que le corps solide laisse entre lui et le mercure. Si le corps est enfoncé d'un décimètre ou davantage, les poussières le suivront jusqu'à cette profondeur, et les dernières arrivées seront appelées d'une grande distance du point où le corps aura été plongé.

Nous pouvons résumer comme il suit les expériences de ce chapitre. L'eau de levûre sucrée, liqueur excessivement altérable au contact de l'air ordinaire, peut être conservée intacte pendant des années entières lorsqu'elle est exposée à l'action de l'air calciné, après avoir été soumise à l'ébullition pendant deux ou trois minutes. Mais l'expérience a besoin d'être faite convenablement. Effectuée sur la cuve à mercure avec tous les soins imaginables, elle ne réussit qu'exceptionnellement, si tant est qu'elle réussisse quelquefois. La liqueur s'altère presque aussi facilement qu'à l'air ordinaire, parce qu'il est impossible que la manipulation, de quelque manière qu'elle soit dirigée, n'introduise pas des germes provenant de l'intérieur ou de la surface du mercure ou des parois de la cuve.

L'insuccès des expériences avec l'air calciné, toutes les fois qu'on venait à les pratiquer sur la cuve à mercure, n'était pas la seule cause d'incertitude et d'embarras dans cette grave question de la génération des êtres les plus inférieurs.

Remplace-t-on, en effet, dans les essais précédents l'eau de levûre sucrée par le lait, ou tel autre liquide que nous apprendrons à connaître, et de quelque manière que l'expérience soit conduite, que l'on opère sur la cuve à mercure, ou que l'on opère avec l'appareil déjà décrit, représenté figure 10, et qui donne des résultats si constants pour l'eau de levûre sucrée, le lait se putréfie et montre des organismes.

Ces résultats si divers, contradictoires en apparence, trouveront

leur explication naturelle dans un des chapitres suivants. Mais jusque-là ils étaient bien faits pour jeter le trouble dans les esprits, ainsi que j'ai déjà essayé de le montrer dans le chapitre historique placé en tête de ce travail.

CHAPITRE IV

Ensemencement des poussières, qui existent en suspension dans l'air, dans des liqueurs propres au développement des organismes inférieurs.

Les résultats des expériences des deux chapitres qui précèdent nous ont appris :

1° Qu'il y a toujours en suspension dans l'air ordinaire des corpuscules organisés tout à fait semblables à des germes d'organismes inférieurs ;

2° Que l'eau de levûre de bière sucrée, liqueur éminemment altérable à l'air ordinaire, demeure intacte, limpide, sans donner jamais naissance à des infusoires ou à des moisissures, lorsqu'elle est abandonnée au contact de l'air qui a été préalablement chauffé.

Cela posé, essayons de rechercher ce qui arriverait au contact de ce même air, en ensemençant dans cette eau sucrée albumineuse les poussières que nous avons appris à recueillir au chapitre II, sans introduire autre chose que ces poussières.

Quelle que soit la méthode d'expérimentation, il faut qu'elle éloigne complètement la cuve à mercure, parce que tous les résultats en seraient troublés. Je l'ai constaté directement pour ce point de la question par des expériences particulières que je crois sans grande utilité de rapporter ici. J'aurai d'ailleurs l'occasion de revenir encore sur les inconvénients d'utiliser le mercure dans ces sortes d'expériences.

Voici les dispositions que j'ai adoptées pour déposer les poussières de l'air dans les liqueurs putrescibles ou fermentescibles, en présence de l'air chauffé.

Reprenons notre ballon renfermant de l'eau de levûre sucrée et de l'air calciné, figure 11. Je supposerai que le ballon soit à l'étuve à 25° ou 30°, depuis un ou deux mois, sans y avoir éprouvé d'altération sensible, preuve manifeste de l'inactivité de l'air chauffé dont il a été rempli sous la pression atmosphérique ordinaire.

La pointe du ballon étant toujours fermée, je l'adapte, au moyen d'un tube de caoutchouc, à un appareil disposé comme il suit, figure 12 :

T est un tube de verre fort, de 10 à 12 millimètres de diamètre intérieur, dans lequel j'ai placé un bout de tube de petit diamètre *a*, ouvert à ses extrémités, libre de glisser dans le gros tube et renfermant une portion d'une des petites bourres de coton chargées de poussières; R est un tube de laiton en forme de T, muni de robinets, l'un de ces robinets communique avec la machine pneumatique, un autre avec un tube de platine chauffé au rouge, le troisième avec le tube T; *cc* représente le caoutchouc qui réunit le ballon B au tube T.

Lorsque toutes les parties de l'appareil sont disposées et que le

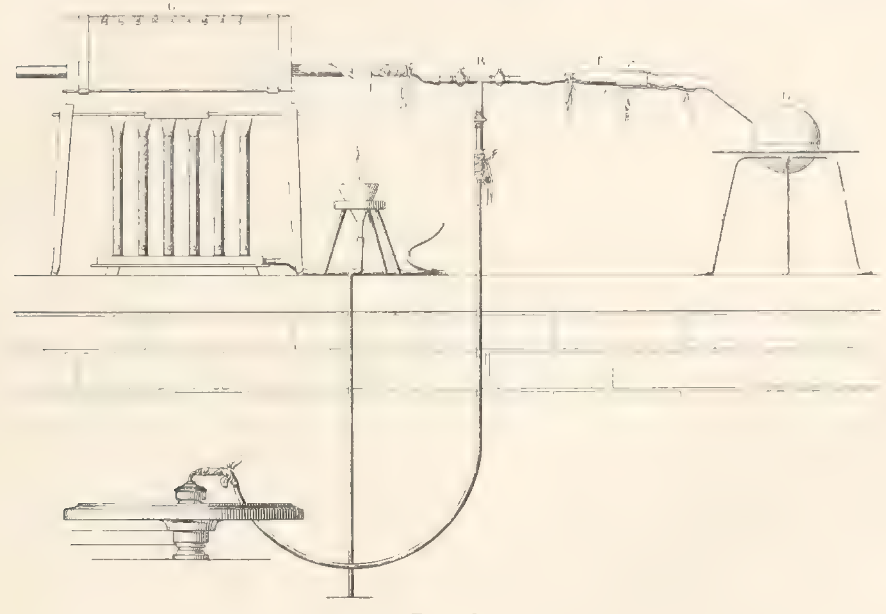


Fig. 12.

tube de platine est porté au rouge par le calorifère à gaz figuré en G, on fait le vide, après avoir fermé le robinet qui conduit au tube de platine. Ce robinet est ensuite ouvert de façon à laisser rentrer peu à peu dans l'appareil de l'air calciné. Le vide et la rentrée de l'air calciné sont répétés alternativement dix à douze fois. Le petit tube à coton se trouve ainsi rempli d'air brûlé jusque dans les moindres interstices du coton, mais il a gardé ses poussières. Cela fait, je brise la pointe du ballon B, à travers le caoutchouc *cc*, sans dénouer les cordonnets, puis je fais couler le petit tube aux poussières dans le ballon. Enfin, je referme à la lampe le col du ballon qui est de nouveau reporté à l'étuve. Or, il arrive constamment que des productions commencent à apparaître dans le ballon après vingt-quatre, trente-six ou quarante-huit heures au plus.

C'est précisément le temps nécessaire pour que ces mêmes productions apparaissent dans l'eau de levûre sucrée lorsqu'elle est exposée au contact de l'air commun.

Voici le détail de quelques expériences :

Dans les premiers jours de novembre 1859, j'ai préparé, suivant la méthode de la figure 10, plusieurs ballons de 250 centimètres cubes de capacité, renfermant 100 centimètres cubes d'eau de levûre sucrée et 150 centimètres cubes d'air chauffé. Ils sont restés à l'étuve à une température voisine de 30° jusqu'au 8 janvier 1860. Ce jour-là, vers neuf heures du matin, j'ai introduit dans l'un de ces ballons, à l'aide de l'appareil de la figure 12, une portion de bourre de coton chargée de poussières, recueillies comme cela a été expliqué au chapitre II.

Le 9 janvier, à neuf heures du matin, le liquide du ballon n'offre



Fig. 13.

rien de particulier. Le même jour, à six heures du soir, on voit très distinctement de petites touffes de moisissures sortir du tube aux poussières. Limpidité parfaite du liquide.

Le 10 janvier, à cinq heures du soir, outre les touffes soyeuses de moisissures, le liquide ayant toujours conservé une limpidité parfaite, j'aperçois sur les parois du ballon un grand nombre de traînées blanches, irisées de diverses couleurs lorsqu'on place le ballon entre l'œil et la lumière.

Le 11 janvier, le liquide a perdu sa limpidité. Il est tout trouble, à tel point qu'on ne distingue plus les touffes de mycelium.

Alors j'ouvre le ballon par un trait de lime et j'étudie au microscope les diverses productions qui y ont pris naissance.

Le trouble du liquide est dû à une foule de petits bacteriums, de la plus petite dimension, très rapides dans leurs mouvements, pirouettant vivement ou se balançant, etc..., fig. 13.

Les touffes soyeuses sont formées par un mycelium en tubes rameux, fig. 14.

Enfin, cette espèce de précipité pulvérulent sous forme de traînées blanches, qui s'est montré le 10 janvier, est constitué par une torulacée très élégante, représentée fig. 15. C'est une torulacée très fréquente dans les liqueurs albumineuses sucrées, qui se développe.

par exemple, dans les jus de betteraves rendus un peu acides, dans les urines des diabétiques, et que l'on pourrait confondre avec la levûre de bière, à laquelle elle ressemble beaucoup par son mode de développement, si le diamètre de ses globules n'était sensiblement plus petit que celui des cellules de la levûre, plus petit d'un tiers ou même



Fig. 14.

de la moitié. Les globules de cette torulacée sont peu granuleux, plus translucides que les globules de la levûre de bière. Le noyau, quand il est visible, est unique et très net. Ces globules se multiplient par bourgeonnement et affectent la forme rameuse de la levûre de bière en voie de multiplication.

Ainsi, voilà trois productions nées sous l'influence des poussières que l'on a semées, productions de même ordre que celles qu'on voit

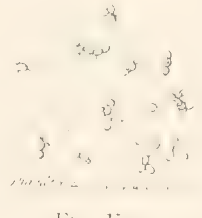


Fig. 15.

naître dans ces mêmes liqueurs sucrées albumineuses quand on les abandonne au contact de l'air ordinaire.

Le 17 janvier, j'ai introduit des poussières dans deux autres de ces ballons d'eau de levûre sucrée demeurés sans altération depuis le mois de novembre.

Le 19 au matin, un des liquides est tout trouble. Il n'offre d'ailleurs aucune apparence de mycelium. Le liquide de l'autre ballon est encore très limpide. Aucune apparence de production organisée.

Le même jour, à cinq heures du soir, le premier ballon est dans le même état; le trouble est seulement accru; quant à l'autre, la limpidité de son liquide est toujours parfaite, mais une touffe de mycelium sort du petit tube aux poussières et en garnit toute une extrémité.

Le 20, l'état du premier ballon n'a pas changé sensiblement. La moisissure du second s'est beaucoup développée, et il s'en est formé une nouvelle dans l'intérieur du liquide. En outre, la limpidité du liquide paraît légèrement altérée.

Le 21, le liquide du second ballon est presque aussi trouble que celui du premier, et les touffes de mycelium n'ont pris aucun accroissement depuis la veille, c'est-à-dire depuis que le trouble s'est manifesté dans toute la masse du liquide.

Le 22 et le 23 janvier, les touffes de mycelium restent toujours stationnaires, et il n'est pas douteux, comme on va le voir, qu'il faille



Fig. 16.

attribuer l'arrêt de leur développement à la présence des infusoires qui troublent le liquide, et qui, en s'emparant de l'oxygène dissous, privent la plante d'un de ses aliments les plus essentiels. Ce résultat est constant, et c'est là ce qui explique pourquoi dans le premier ballon, la production développée en premier lieu ayant été formée par des infusoires, on n'a vu naître aucune autre production organisée.

Voici la confirmation remarquable de cette opinion :

Le 23 janvier, voyant que les touffes du mycelium du deuxième ballon sont stationnaires depuis le 20, je fais tomber le petit tube aux poussières dans le goulot du ballon, comme le représente la figure 16, afin de placer la touffe de moisissures, qui garnit l'une des extrémités de ce petit tube, en contact avec l'atmosphère du ballon, et éloigner ainsi l'influence des infusoires.

Or, dix-huit heures après, dès le 24 janvier au matin, la moisissure a poussé des filaments dans toutes les directions, qui tapissent le petit tube et le goulot du ballon. Le 25, elle a fructifié. Le 27, elle s'étend en partie à la surface du liquide du ballon. A partir de ce jour elle ne s'est plus agrandie et est restée tout à fait stationnaire, parce que tout l'oxygène de l'air du ballon avait disparu et avait été remplacé par de l'acide carbonique.

Ces faits, que j'ai eu l'occasion de constater bien souvent dans des circonstances analogues, montrent toute l'influence que peuvent avoir les unes sur les autres des productions se développant simultanément, comment elles peuvent se nuire et comment il arrive qu'une liqueur peut offrir des organismes variés, mais bien moins nombreux, dans chaque cas particulier, qu'il n'y a de germes semés, et qu'il ne pourrait s'en développer à la rigueur. Les premiers qui sont en voie de multiplication étouffent les autres (1).

Toutes les personnes qui ont étudié les productions organisées des infusions ont pu faire la remarque qu'une infusion est privée plus ou moins complètement d'infusoires, s'il arrive qu'elle se couvre de mucédinées, dans les premiers jours de son exposition à l'air. Et, inversement, lorsqu'elle débute par des infusoires. elle a peine à montrer des moisissures. La cause de ce fait est du même ordre que celle dont je viens de parler. Dans le premier cas, l'oxygène est absorbé par les mucédinées, dans le second par les infusoires. Ce que je dis de l'oxygène peut s'appliquer sans doute aux autres aliments de ces petits êtres.

J'ai représenté, fig. 17, la mucédinée développée dans le goulot du ballon, lequel a été ouvert le 31 janvier, afin de pouvoir étudier les productions auxquelles il avait donné lieu.

Au fond du liquide qui s'était éclairci depuis plusieurs jours, parce que la moisissure avait à son tour nui au développement des infusoires, il y avait un dépôt sensible, blanc-jaunâtre, formé uniquement de cadavres de petits bacteriums et de petits vibrions. Tous, sans exception, étaient sans mouvement autre que le mouvement brownien.

Quant à la mucédinée, son mycelium avait poussé des tubes verticaux, translucides, incolores, non ramifiés, portant à leur extrémité de petites boules colorées en brun foncé dans les individus les plus âgés. Ces sporanges s'écrasent facilement sous la lame de verre, en laissant voir des spores dans leur intérieur. On reconnaît alors très nettement que ces sporanges ont une enveloppe membraneuse, car celle-ci se déchire par la pression. Si alors on fait arriver une goutte

1. C'est donc à tort, selon moi, que M. Pouchet donne *comme une immense objection* que les poussières qu'il a semées ne lui ont pas fourni plus de mucédinées qu'il n'en apparaît sans semence. Qu'il veuille bien les semer, par exemple, sur une même liqueur, placée dans un vase divisé en compartiments, et il verra que les corpuscules de l'air semés dans ces compartiments lui fourniront des productions très diverses. C'est en définitive ce que je fais quand j'opère sur plusieurs ballons séparément.

Toutes les conditions seront pareilles, mais dans chaque petit compartiment les premières productions qui auront poussé ne nuiront en rien à celles des cases voisines. Seulement la variété des productions ne sera pas indéfinie parce qu'elle est limitée, comme on le sait, par la nature de l'infusion.

d'eau sous la lame de verre, instantanément la petite sphère se vide, et il en sort par courants rapides des amas de spores ovoïdes, d'une translucidité parfaite et d'une grande netteté de contours. Leur diamètre varie de 0,006 à 0,008 de millimètre. Ce sont tous les caractères de l'espèce la plus commune du genre *ascophora*. Mais en outre, à côté de cette mucédinée, j'en ai rencontré une très différente appartenant au genre *penicillium*, représentée fig. 18; et dans l'intérieur même du petit tube à poussières, mêlée aux fibres du coton, se trouvait une *torula* en grosses cellules de 0,02 à 0,04 de millimètre de

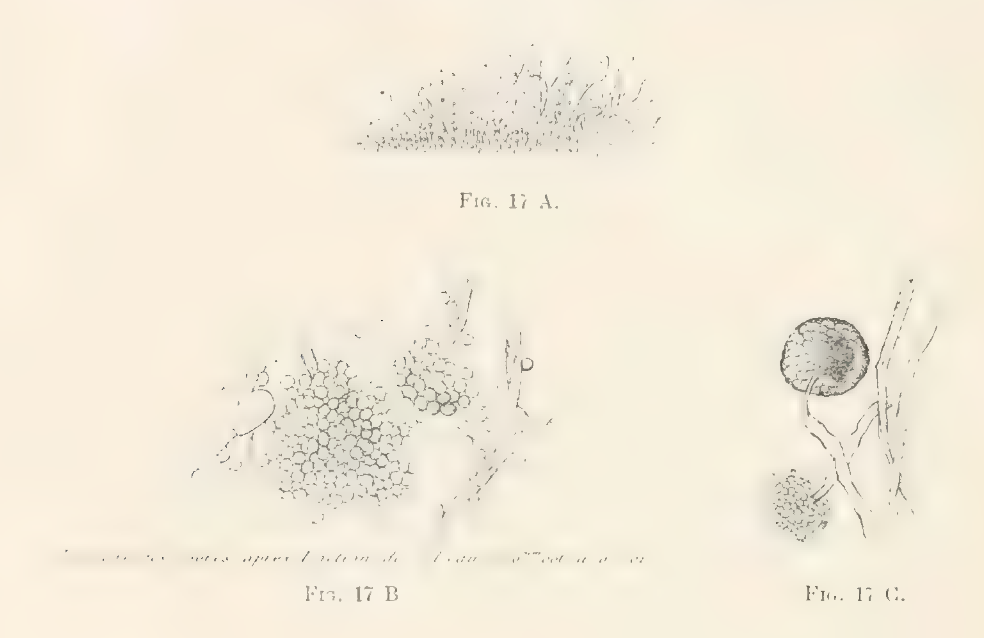


Fig. 17 A.

Fig. 17 B

Fig. 17 C.

diamètre, jointe à des articles beaucoup plus longs provenant d'un développement de ces cellules généralement très granuleuses. Elle est représentée fig. 19.

Je pourrais multiplier beaucoup les exemples de productions nées dans l'eau de levûre sucrée par le fait de l'ensemencement des poussières de l'air, au sein d'une atmosphère d'air chauffé préalablement et par elle-même tout à fait inactive. J'ai choisi de préférence pour les décrire les essais qui m'avaient montré des productions organisées très communes, et qui apparaissent fréquemment sur les liquides de la nature de ceux que j'employais. Mais les mucorées, les torulacées, les mucédinées les plus diverses prennent naissance. Quant aux infusoires, ce sont toujours, pour ce genre de liquides, de petits bacteriums, les plus petites monades ou les plus petits des vibrions.

Or toutes ces productions sont précisément de la nature de celles que l'on voit apparaître dans la liqueur dont il s'agit, lorsqu'elle est librement exposée au contact de l'air ordinaire. En ce qui concerne les infusoires, je puis affirmer que jamais dans aucune circonstance je n'ai vu l'eau de levûre sucrée donner naissance à des infusoires autres que les bacteriums et les plus petits des vibrions. L'infusoire le plus gros que j'aie rencontré est le *monas lens* de $0^{mm},004$ de diamètre, et encore je ne l'ai vu que fort rarement, soit à l'air libre, soit dans les ballons

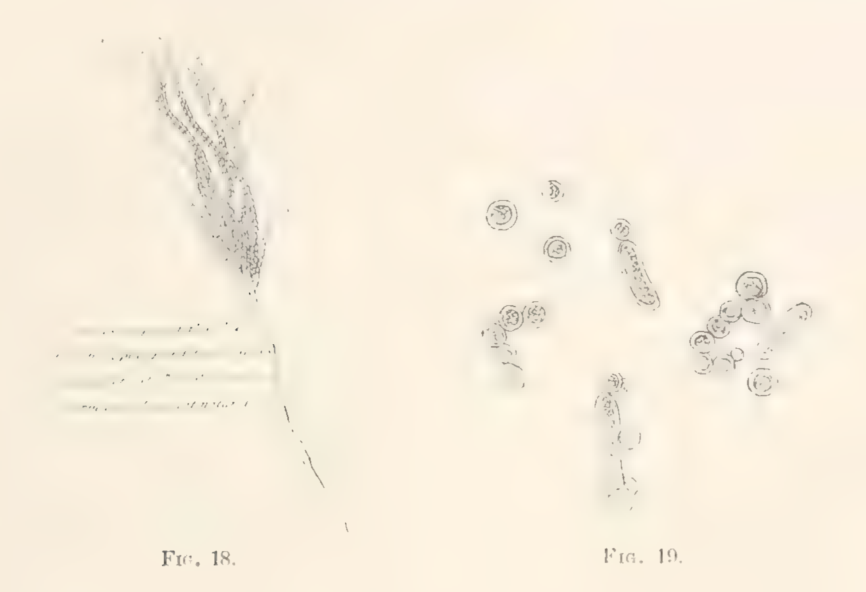


Fig. 18. Fig. 19.

fermés. Quant aux végétaux, ce sont des mucors, des mucédinées ordinaires ou des torulacées (1).

On pourrait peut-être se demander si, dans les expériences qui précèdent, le coton, en tant que matière organique, n'a pas eu quelque influence sur les résultats. Il est surtout utile de savoir ce qui arriverait si l'on répétait les manipulations sur des ballons préparés comme on l'a dit, et en éloignant les poussières de l'air. En d'autres termes, la manipulation à laquelle il faut recourir pour l'introduction des

1. Je dois dire ici, une fois pour toutes, que j'appelle *mucors* les productions organisées végétales qui se développent de préférence à la surface des liquides, et qui offrent un aspect plus ou moins gras ou gélatineux, en pellicules minces ou épaisses, humides ou sèches, et quelquefois chagrinées; *mucédinées*, les moisissures proprement dites dont le mycelium est formé de tubes diversement ramifiés, et qui offrent à la surface du liquide des organes de fructification ordinairement colorés sous la forme de poussières et quelquefois des tubes visibles à l'œil nu, terminés par des sporanges comme dans les moisissures les plus vulgaires; et enfin *torulacées* les petites plantes cellulaires non tubulées, qui se montrent au fond du liquide où elles se multiplient par bourgeonnement, en affectant la forme de précipités, à la manière de la levûre de bière.

poussières n'a-t-elle par elle-même aucune influence? Il est indispensable de s'en assurer.

Afin de répondre à ces questions, j'ai remplacé le coton par de l'amiante. Les bourres d'amiante, après une exposition de quelques heures au courant d'air de l'aspirateur, fig. 1, ont été introduites dans les ballons en suivant les indications qui précèdent, et elles ont donné des résultats tout à fait de même ordre que ceux que nous venons de rapporter. Mais avec des bourres d'amiante préalablement calcinées et non chargées de poussière, ou chargées de poussière mais chauffées ultérieurement, il ne s'est produit ni trouble, ni infusoires, ni plantes d'aucune sorte. Les liquides ont conservé une parfaite limpidité. J'ai répété un grand nombre de fois ces expériences comparatives, et j'ai toujours été surpris de leur netteté, de leur constance parfaite. Il semblerait, en effet, que des expériences de cette délicatesse devraient offrir quelquefois des résultats contradictoires amenés par des causes d'erreur accidentelles. Or il ne m'est pas arrivé une seule fois de voir réussir les expériences *à blanc*, comme je n'ai jamais vu l'ensemencement des poussières ne pas fournir des productions organisées.

En présence de tels résultats, confirmés et agrandis par ceux des chapitres suivants, je regarde, comme mathématiquement démontré, que toutes les productions organisées, qui se forment à l'air ordinaire dans de l'eau sucrée albumineuse, préalablement portée à l'ébullition, ont pour origine les particules solides qui sont en suspension dans l'air.

Mais, d'autre part, nous avons vu au chapitre II que ces particules solides renferment, au milieu d'une foule de débris amorphes : carbonate de chaux, silice, suie, brins de laine, etc., des corpuscules organisés qui ressemblent, à s'y méprendre, aux petites graines des productions dont nous avons reconnu la formation dans cette liqueur. Ces corpuscules sont donc les germes féconds de ces productions.

Concluons, en outre, que si l'air chauffé mis en présence d'une conserve d'Appert formée par de l'eau sucrée albumineuse, telle que du moût de raisin, ne s'altère pas, ainsi que l'a trouvé le premier le Dr Schwann, c'est que la chaleur a détruit les germes que cet air charriait. C'est ce que prévoyaient tous les adversaires de l'hétérogénie. Je n'ai fait qu'en donner des preuves solides et décisives, et obliger les esprits non prévenus à rejeter bien loin toute idée de l'existence dans l'air d'un principe plus ou moins mystérieux, gaz, fluide, ozone, etc., ayant la propriété de provoquer une organisation quelconque dans les infusions.

Il y aurait ici à traiter une question bien intéressante, sur laquelle je reviendrai dans une publication spéciale, et qui ne manquera pas de

surprendre le lecteur. Rien n'est plus propre que la liqueur étudiée dans les pages précédentes à donner naissance à la fermentation alcoolique. L'eau de levûre sucrée est constituée à la manière du moût de raisin, du moût de bière, du jus de betterave, etc., liquides qui, exposés au contact de l'air ordinaire, entrent facilement en fermentation. Or, dans un nombre considérable d'expériences disposées comme je l'ai dit précédemment, et où j'ai semé des poussières de l'air dans de l'eau de levûre sucrée, il ne m'est jamais arrivé d'obtenir la fermentation du liquide sucré (1).

C'est ici le lieu de faire remarquer qu'il n'y a rien de plus contraire à la vérité que cette assertion souvent reproduite par les partisans de la doctrine des générations spontanées, « que l'apparition des premiers organismes est toujours précédée par des phénomènes de fermentation ou de putréfaction,... et que la formation des animalcules dans les macérations vient à la suite d'un dégagement de gaz divers dus à la décomposition des substances que l'on a employées, et que c'est après la manifestation de ces phénomènes qu'il se forme à la surface des liquides une pellicule particulière » (2). Aussi, lorsque l'on me parle de mouvement fermentescible, que je détermine dans mes liqueurs en y semant les poussières, *mouvement fermentescible nécessaire pour l'évolution des forces génésiques*, je ne vois là que des mots vagues, auxquels l'expérience m'apprend à ne prêter aucun sens raisonnable.

CHAPITRE V

Extension des résultats qui précèdent a de nouveaux liquides très altérables. — Urine. — Lait. — Eau sucrée albumineuse mêlée de carbonate de chaux.

§ I. — *Urine.*

On sait avec quelle facilité l'urine fraîche s'altère au contact de l'air atmosphérique. Le plus ordinairement elle perd son acidité, se trouble, répand une forte odeur ammoniacale, et dépose des cristaux de diverses natures. Une étude microscopique attentive permet de reconnaître que le trouble de la liqueur, le dépôt qui se forme au fond du vase, la pellicule qui souvent recouvre peu à peu toute la surface du liquide, sont

1. Je montrerai ultérieurement que cette particularité tient au rapport qui existait dans mes expériences entre les volumes de l'air et du liquide.

2. Pouchet. Hétérogénie ou Traité de la génération spontanée. *Paris*, 1859, p. 252 et 253.

constitués par des productions organisées [1]. Voici les plus fréquentes : la pellicule de la surface du liquide est souvent une membrane mucorée, formée de granulations ou mieux d'articles d'une extrême ténuité ; on dirait des amas de *bacterium termo* sans mouvement. Cela paraît d'autant plus probable que, dans cette même pellicule, fourmille cet infusoire, outre de très petites monades se mouvant circulairement avec rapidité. Cette pellicule membraneuse tombe en tout ou en partie au fond du vase, dès qu'elle devient assez lourde en quelques points, puis une nouvelle se reforme, laquelle tombe à son tour ; de là l'origine de certains dépôts de l'urine en voie d'altération.

D'autres fois il se développe à la surface de l'urine des îlots de mucédinées, surtout le *penicillium glaucum*, qui ne s'y propage cependant que péniblement, sans y prendre sa couleur vert-bleuâtre bien franche.

Enfin, lorsque la température ambiante ne s'élève pas à plus de 15°,

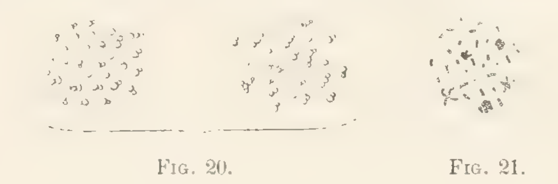


Fig. 20. Fig. 21.

l'urine se couvre assez fréquemment d'une pellicule continue, difficile à déchirer, et qui se reforme aussitôt sans solution de continuité, dès que l'on retire la baguette de verre avec laquelle on essaye de disjoindre ses parties. Lorsque cette pellicule prend naissance, il arrive assez souvent que l'urine reste acide et ne se trouble pas sensiblement.

Cette pellicule est formée par une mucorée remarquable, fort analogue à la torulacée, fig. 15, mais que je crois néanmoins différente spécifiquement. Elle est représentée fig. 20. Ce sont des cellules translucides où le noyau est rarement apparent, se multipliant par bourgeonnement. Le diamètre des cellules varie de $0^{mm},0045$ à $0^{mm},0065$, sensiblement plus petit que celui des globules de levûre de bière.

Quant au dépôt qui prend naissance au fond et sur les parois d'un vase d'urine exposée à l'air, il renferme, outre les productions tombées de la surface, des cristaux de nature variable. Mais ce que je veux surtout faire remarquer, c'est l'existence d'une torulacée en chapelets de très petits grains, fig. 21, toutes les fois que la liqueur est devenue

1. Je laisse de côté, bien entendu, les dépôts muqueux, amorphes, qui prennent naissance dans l'urine par son refroidissement.

ammoniacale par la transformation de l'urée. Je suis très porté à croire que cette production constitue un ferment organisé, et qu'il n'y a jamais transformation de l'urée en carbonate d'ammoniaque, sans la présence et le développement de ce petit végétal. Cependant mes expériences sur ce point n'étant pas encore achevées, je dois mettre quelque réserve dans mon opinion. Ce que je puis affirmer dans tous les cas, c'est l'inexactitude d'un fait qui a été souvent cité dans les discussions auxquelles ont donné lieu les théories relatives à l'origine des fermentations. Ce fait bien connu consisterait dans la décomposition de l'urée, sous l'influence de la fermentation alcoolique du sucre. Toutes les fois que j'ai vu l'expérience réussir, la levûre de bière s'est trouvée mêlée à la torulacée en chapelets dont je viens de parler, et lorsque la levûre de bière restait homogène, sans mélange d'aucune autre production particulière, l'urée n'avait éprouvé aucune altération. Le fait qui précède, mieux étudié, concorde donc avec les idées nouvelles que j'ai émises dans ces dernières années au sujet de l'origine des fermentations proprement dites.

Nous venons de reconnaître les productions les plus ordinaires de l'urine exposée au contact de l'air, et qui s'y montrent simultanément ou séparément. Étudions maintenant ce qui se passe lorsque l'urine est soumise à l'action de l'air qui a été chauffé. Pour cela, reprenons l'appareil de la figure 10.

De l'urine fraîche filtrée est mise à bouillir pendant deux à trois minutes dans le ballon, communiquant avec le tube de platine chauffé au rouge. On cesse alors l'ébullition, de manière que le ballon, refroidi, soit rempli d'air calciné sous la pression et à la température ordinaires; puis on le ferme à la lampe, à la naissance de la partie effilée de son col. On porte alors le ballon, tel qu'il est représenté fig. 11, à l'étuve, à la température de 25 à 30°, température si favorable à la putréfaction de l'urine. Il peut y séjourner indéfiniment, sans éprouver d'autre altération qu'une oxydation lente de la matière albumineuse de l'urine; du moins l'urine se fonce un peu en couleur avec le temps, et l'analyse de l'air du ballon accuse une perte d'oxygène et un gain d'acide carbonique.

Le 14 avril 1860, j'ai analysé l'air d'un ballon préparé comme je viens de le dire, et qui était à l'étuve depuis le 13 février de la même année. L'air renfermait alors :

Azote par différence	76,8
Oxygène	19,3
Acide carbonique	3,9
	100,0.

Mais la limpidité de l'urine reste parfaite, même après dix-huit mois, et il n'y apparaît pas la plus petite production animale ou végétale ; elle conserve également son acidité et son odeur premières.

L'urine, qui a été portée à la température de l'ébullition, n'éprouve donc aucune putréfaction ou fermentation en présence de l'air chauffé (1).

Voyons maintenant ce qui arrive à ce liquide, lorsque toutes les conditions précédentes sont remplies, et que l'on y dépose les poussières qui existent en suspension dans l'air.

Le 16 mars 1860, j'introduis dans un ballon contenant de l'urine et de l'air chauffé une petite bourre d'amiante qui avait été exposée pendant quelques heures à un courant d'air ordinaire.

L'introduction des poussières fut pratiquée en suivant la méthode de la figure 12, avec toutes les précautions déjà indiquées au précédent chapitre.

Le 17 mars, il n'y a ni trouble, ni moisissure, ni torulacée. Pas de cristaux déposés.

Le 18, pas de moisissure apparente, ni dans le tube, ni ailleurs, mais le liquide est trouble, comme cela arrive toutes les fois qu'il y a développement d'infusoires. Ainsi que je l'ai fait observer, c'est le mouvement même de ces petits êtres qui est la cause du trouble de la

1. Mais il ne sera pas inutile de faire remarquer encore ici que cette expérience, effectuée avec l'aide de la cuve à mercure, donne des résultats positifs, sans que l'on introduise en apparence rien qui puisse contenir des germes. Que l'on prenne, par exemple, le ballon de la figure 11, et que l'on brise sa pointe au fond de la cuve à mercure, puis que l'on fasse sortir du gaz afin que le mercure puisse rentrer ensuite dans le ballon ; il arrivera au moins neuf fois sur dix, sinon toujours, que des moisissures ou de petits infusoires apparaîtront dans la liqueur. C'est le mercure qui en apporte les germes.

Je ne rapporterai qu'une expérience de ce genre.

Le ballon dont il est question dans le texte a été reporté à l'étuve le 14 avril, après qu'on eut prélevé sur la cuve à mercure le volume d'air nécessaire à l'analyse. Ce ballon était renversé dans un verre à pied sur le mercure. Or, voici ce qui se passa : le 16 avril, il y avait au fond de l'urine, à la surface de séparation de l'urine et du mercure, douze petites touffes de mycelium. Le liquide avait conservé une limpidité parfaite, preuve de l'absence absolue des infusoires. Le 21 avril, plusieurs des petites touffes réunies par juxtaposition se sont tellement accrues, qu'elles ont atteint la surface de l'urine et que leurs tubes se trouvent ainsi en contact avec l'air. Le liquide est toujours d'une parfaite limpidité. Dès le 21 avril au soir, un îlot est constitué à la surface du liquide, avec sporanges visibles, de couleur verte et rappelant tout à fait le *penicillium glaucum*.

Qnelques jours après, la mucédinée occupait plus de la moitié de la surface du liquide J'analyse alors de nouveau le gaz du ballon. Il renfermait :

Acide carbonique	19,5
Azote par différence	80,5
Oxygène	0,0
	100,0.

Remarquons en passant que, d'après cette analyse, une mucédinée épuise par sa végétation jusqu'aux plus petites quantités d'oxygène libre de l'air d'un ballon fermé.

liqueur. Dès qu'ils périssent par privation d'air, ils se rassemblent au fond du vase, comme ferait un précipité, et le liquide s'éclaircit.

Le 19 mars, le trouble existe encore et a déjà formé un dépôt très sensible au fond du ballon, dépôt blanc, un peu visqueux.

Le 20 et le 21 mars, toujours même état.

Le 21 au soir, beaucoup de petits cristaux sont déposés à la surface du liquide et tapissent toutes les parois du ballon. Ce dépôt de cristaux annonce que le liquide doit être ammoniacal et qu'il s'est altéré suivant un des modes ordinaires de putréfaction de l'urine, au contact de l'air ordinaire.

Le 23 mars, j'ouvre le ballon sur le mercure. Il n'y a pas de pression qui annonce qu'il y ait eu dégagement de gaz. Le liquide est très sensiblement alcalin au papier de tournesol rouge, cependant la



Fig. 22. Fig. 23.

réaction alcaline, aussi bien que l'action de l'acide chlorhydrique, indique qu'il ne s'est pas encore formé beaucoup de carbonate d'ammoniaque. L'examen au microscope accuse la formation de trois sortes de cristaux, d'une foule de petits bacteriums dont plusieurs encore très agiles, et de monades très petites qui se déplacent suivant des courbes. Il y avait en outre la torulacée (fig. 21) en petits grains réunis sous forme de courts chapelets. Le résultat de cet examen au microscope est représenté figure 22; on a seulement figuré à part les cristaux et les productions organisées.

Le diamètre des grains de la torulacée en petits chapelets était de $0^{mm},0015$ environ. C'est le ferment organisé que je regarde comme le ferment de l'urine, c'est-à-dire celui qui provoque la transformation de l'urée en carbonate d'ammoniaque, et qui, ultérieurement par le fait de l'alcalinité qui en résulte, amène le dépôt des urates alcalins et du phosphate ammoniaco-magnésien.

L'urine, abandonnée à elle-même et qui reste acide, laisse bien déposer des cristaux, mais ce sont des cristaux d'acide urique. J'ai dessiné, fig. 23, des cristaux de cet acide, déposés dans de l'urine qui était restée acide pendant quinze jours, à la température de 11°, et à la

surface de laquelle n'avait pris naissance que la mucorée déjà représentée figure 20.

Je pourrais multiplier beaucoup les exemples d'altération de l'urine en présence de l'air chauffé, sous l'influence des poussières qui existent dans l'air ordinaire, mais cela aurait peu d'utilité [1] : *bacteriums*, *monades*, *mucédinées*, *torulacées* diverses, voilà toujours ce que l'on observe. Cependant les mucédinées sont en général moins fréquentes que dans les expériences avec l'eau sucrée albumineuse. Ce qu'il faut surtout remarquer, c'est qu'il n'y a pas plus de variété dans les productions qu'offre l'urine exposée à l'air ordinaire, qu'il n'y en a dans celles de l'urine exposée à l'air chauffé, sous l'influence des poussières qui flottent dans l'air.

La différence, si elle existe, est plutôt en faveur du second mode d'expérimentation.

Notre conclusion sera donc que, toutes les fois que l'urine s'altère au contact de l'air ordinaire, c'est par le fait des poussières solides que l'air charrie et qui tombent dans le liquide.

Nous pouvons déjà remarquer, par les détails des expériences que j'ai rapportées jusqu'ici, combien est fréquente la formation des plus petits des infusoires et surtout du *bacterium termo*, qui se montre dans toutes sortes d'infusions et qui apparaît presque toujours avant les autres infusoires. Cet infusoire est si petit, qu'on ne saurait distinguer son germe et encore moins assigner la présence de ce germe, s'il était connu, parmi les corpuscules organisés des poussières en suspension dans l'air. Mais comment n'existerait-il pas dans l'air, lui qui est partout à profusion ? Je n'en veux d'autres preuves que celles que l'on peut déduire de l'examen microscopique d'une foule de substances en putréfaction. Que l'on se rappelle également les observations de Leeuwenhoek sur les infusoires de la matière blanche qui s'amasse entre les dents, et qui ne fait défaut dans la bouche de personne, quel que soit le soin que l'on prenne à tenir ses dents dans un état de propreté aussi parfait que possible. Les bacteriums four-

1. Je citerai cependant encore une expérience choisie parmi celles qui ont donné en premier lieu des mucédinées, avant toute formation d'infusoires.

Le 2 mai 1860, je dépose dans un ballon, conservé à l'aide de la méthode indiquée fig. 12, une très petite portion de bourre de coton chargée de poussières de l'air.

Le 4 mai, à huit heures du matin, une touffe de mycelium en tubes très lâches flotte dans le liquide, qui a conservé toute sa limpidité. Le même jour, à sept heures du soir, apparaissent en outre trois traînées d'un blanc opaque, sur les parois du fond du ballon.

Le 5 mai, le développement des productions de la veille continue. Le liquide est toujours d'une parfaite limpidité. Même état le 6 et le 7 mai. Du 7 au 8, le liquide se trouble uniformément par l'apparition de petits bacteriums, et les moisissures restent stationnaires à partir de ce moment par privation d'oxygène. Le 9 et les jours suivants, des cristaux commencent à se déposer sur les parois du ballon.

millent dans la plus petite parcelle de cette matière. On les retrouve en grande quantité dans le canal intestinal et les matières des excréments (1).

§ II. — *Lait. — Eau sucrée albumineuse avec carbonate de chaux.*

L'étude du lait et de quelques autres liquides va nous offrir des résultats qui paraîtront au premier abord singulièrement embarrassants. Lorsqu'il s'est agi dans les chapitres précédents de l'eau de levûre sucrée et de l'urine, nous avons reconnu que ces liquides, portés à la température de l'ébullition à 100° pendant deux ou trois minutes, puis exposés au contact de l'air qui a subi la température rouge, n'éprouvent aucune altération. L'expérience, conduite comme je l'ai décrite en se servant de l'appareil figure 10, n'est jamais en défaut.

Cela posé, si l'on répète cette même expérience sur le lait ordinaire, on peut être assuré que le lait se caillera et se putréfiera constamment.

Le 10 avril 1860, je prépare un ballon de lait avec l'appareil de la figure 10. L'ébullition a duré deux minutes, depuis le moment où la vapeur d'eau avait déjà assez échauffé la partie effilée du col pour que l'on ne puisse y tenir la main. Après le refroidissement du liquide, on ferme à la lampe le col du ballon comme à l'ordinaire, et on le porte dans une étuve à la température de 25° à 30°.

Le 17 avril, le lait de ce ballon est caillé. Aucune apparence de dégagement de gaz. Je détache le col par un trait de lime. Faible odeur de lait caillé. Le petit-lait est alcalin autant que le lait frais. Examiné

1. M. Pouchet a souvent rappelé, sous forme d'objection aux idées que je défends dans ce Mémoire, que dans les vaisseaux clos, ce sont toujours les plus petits infusoires qui prennent naissance. Cela est vrai, et cette remarque mériterait un examen sérieux, s'il était prouvé qu'une même liqueur donne au contact de l'air ordinaire de gros infusoires, tandis qu'elle en fournit seulement de très petits dans un ballon, en présence de l'air chauffé. Mais cela n'est pas. Et si M. Pouchet connaît une liqueur qui, *après avoir subi la température de l'ébullition à 100°, donne naissance, après deux ou trois jours seulement, à de gros infusoires*, lorsqu'elle est exposée à l'air libre, j'affirme que je pourrai y faire naître ces mêmes gros infusoires, en opérant dans des ballons, au contact de l'air chauffé, et par l'influence seule des poussières qui sont en suspension dans l'air. Si, au contraire, cette liqueur ne donne de gros infusoires qu'après un temps assez long, et après qu'il y aura eu succession dans la liqueur de plusieurs générations des petits infusoires, la difficulté de faire naître les gros dans un volume limité d'air tiendra simplement à ce que l'air altéré par le développement des premiers et très petits infusoires, et ayant perdu tout son oxygène, l'éclosion des germes des gros infusoires ne pourra plus avoir lieu. Mais la difficulté pourra être levée facilement, dans ce cas, si l'on s'arrange de manière à renouveler l'air chauffé dans le ballon.

En opérant comme je l'ai dit, je n'ai pas vu naître de gros infusoires dans l'eau sucrée albumineuse, ou dans l'urine, préalablement portées à l'ébullition. Je n'ai vu ni kolpodes, ni vorticelles, ni paramécies... Mais je n'ai pas davantage aperçu ces infusoires dans ces mêmes liqueurs, lorsqu'elles étaient exposées au libre contact de l'air, et il est juste que l'on ne m'invite pas à faire apparaître dans mes expériences des infusoires de nature plus élevée que celle que l'on observe dans les essais à l'air libre, toutes choses égales d'ailleurs.

au microscope, je le trouve rempli de vibrions d'une même espèce, mais de longueurs très variables. Ils ont un mouvement lent, flexueux; il n'y a pas du tout de *bacterium termo*, ni aucune autre production animale ou végétale. Il n'est donc pas douteux que le lait s'est caillé sous l'influence de la vie de ces vibrions, peut-être par le fait de la production d'un liquide analogue à la présure. Une foule de ces vibrions avaient jusqu'à $0^{mm},05$; les plus petits avaient $0^{mm},004$ de longueur. Beaucoup étaient sans mouvements.

L'analyse de l'air du ballon a donné :

Oxygène	0,8
Acide carbonique	17,2
Hydrogène	0,2
Azote par différence	81,8
	100,0.

Il résulte de cette analyse que l'oxygène avait en grande partie disparu, et avait été remplacé par de l'acide carbonique, sans nul



FIG. 24.

doute sous l'influence de la respiration des vibrions. Le fait de l'existence des vibrions encore vivants à l'ouverture du ballon, bien qu'il n'y eût pas $\frac{1}{100}$ d'oxygène, montre que la vie de ces petits êtres se poursuit tant qu'il y a de l'oxygène, et lors même que la proportion d'acide carbonique est considérable. Nous avons déjà constaté un fait de même ordre pour les mucédinées [p. 250].

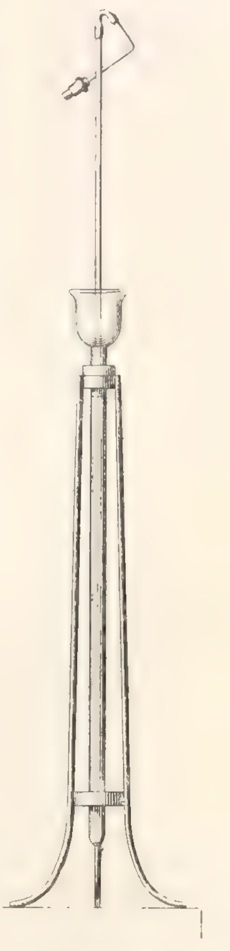
Bien que le lait de ce ballon ait mis sept jours à se cailler, du 10 au 17 avril, il ne faut pas en conclure que le phénomène ne s'est manifesté qu'après sept jours. Si l'on avait ouvert le ballon le 12, le 13 avril on aurait reconnu déjà la présence des infusoires et un commencement très faible de coagulation.

La coagulation se manifeste en général au bout de trois à dix jours; mais je l'ai vue dans un cas ne se déclarer qu'après un mois de séjour à l'étuve, du 11 mars au 16 avril. Cela indique seulement que les infusoires se sont multipliés péniblement et lentement.

Les expériences dont nous venons de parler m'ont toujours offert des résultats analogues. Le lait soumis à l'ébullition à 100° et, aban-

donné au contact de l'air chauffé, se remplit après quelques jours de petits infusoires, le plus souvent d'une variété de *vibrio lineola* (fig. 24) et de bacteriums, et, tout en conservant son alcalinité, il se caille.

Je n'ai jamais vu se former dans le lait ainsi traité autre chose que des vibrions et des bacteriums, aucune mucédinée, aucune torulacée, aucun ferment végétal. Il n'y a pas de doute que cela tient à ce que les germes de ces dernières productions ne peuvent résister à 100° au sein de l'eau, ce que j'ai d'ailleurs constaté par des expériences directes. Et, de même, nous allons reconnaître que, si le lait se putréfie dans les circonstances précédentes, c'est que les germes des infusoires dont nous venons de parler peuvent résister à la température humide de 100°, lorsque le liquide où on les chauffe jouit de certaines propriétés.


FIG. 10 *bis*.

Pour ce qui est de la coagulation du lait, nous voyons par ces expériences que le lait abandonné au contact de l'air se caille sous deux influences très différentes. Il peut se cailler par le fait du développement d'infusoires, phénomène qui rentre probablement dans les cas de coagulation du lait par la présure. Il y a lieu de rechercher si, par suite de la vie des infusoires, il prend naissance un liquide analogue à celui des présures naturelles ou artificielles, qui peuvent, elles aussi, produire la coagulation sans acidité. Il y a, d'autre part, la coagulation du lait sous l'influence de l'acide lactique. Lorsque le lait frais, non bouilli, est abandonné au contact de l'air, la coagulation est due le plus souvent à cette seconde cause. Quant à l'acidité elle-même, elle est occasionnée par le développement de ferments végétaux, particulièrement le ferment lactique, qui transforment le sucre de lait en acide lactique ou en d'autres acides, ferments qui ne peuvent prendre naissance lorsque le lait a été bouilli et qu'il est exposé à l'air chauffé, parce que les germes de ces ferments ne résistent pas à 100°.

J'ai dit que la putréfaction du lait qui a été chauffé à 100°, et qui se trouve exposé à l'air *calciné*, était due à ce que, dans certains cas, les germes des vibrions résistaient à la température de 100°. Il est facile

de s'en convaincre. Reprenons, en effet, l'appareil de la figure 10, et faisons bouillir le lait à une température un peu supérieure à 100°, 110° au maximum, en adaptant à l'extrémité gauche du tube de platine le tube de verre de la figure 10 *bis*, plongeant de 40 à 50 centimètres cubes dans le mercure de la longue cuvette que représente cette même figure. Détachons ce tube de verre lorsque l'ébullition du lait aura duré seulement une minute ou deux; puis fermons à la lampe le col du ballon comme nous l'avons toujours fait. Ces ballons ainsi préparés pourront alors rester indéfiniment à l'étuve, sans jamais donner lieu à la moindre production, moisissure ou infusoire quelconques.

Le lait conserve sa saveur, son odeur et toutes ses qualités. Il est surprenant que sa matière grasse ne s'oxyde pas plus rapidement en présence d'un volume d'air aussi considérable. Cette oxydation existe cependant, mais elle est très faible. Voici l'analyse de l'air d'un ballon qui était resté quarante jours à l'étuve :

Oxygène	18,37
Acide carbonique	0,16
Azote par différence	81,47
	100,00.

Sous l'influence de cette oxydation directe, la crème se grumelle un peu et communique au lait une légère saveur de suif.

Ainsi donc, la putréfaction du lait, bouilli à 100° et exposé à l'air chauffé, n'était qu'un accident provoqué par ce fait, que la température de l'ébullition n'avait pas été assez élevée. Il suffit de la pratiquer à 100 et quelques degrés, et même de la prolonger à 100°, pour que les résultats aient toute la netteté et toute la précision de ceux que nous avons déjà obtenus en opérant sur l'eau de levûre sucrée et sur l'urine.

Mais, dira-t-on, comment se fait-il que l'eau de levûre sucrée et l'urine n'aient besoin de subir qu'une ébullition à 100°, pour que jamais on n'y voie apparaître des vibrions au contact de l'air chauffé? Nous allons reconnaître que cela est dû vraisemblablement à ce que ces liquides sont très faiblement acides, tandis que le lait est alcalin. En effet, j'ai reconnu que l'on peut faire produire des vibrions, à l'aide de l'eau de levûre sucrée, au contact de l'air calciné. Il suffit de faire bouillir la liqueur à 100° en présence d'un peu de carbonate de chaux, qui rend la liqueur neutre ou légèrement alcaline.

Le 21 mars 1860, je prépare six ballons à l'aide de l'appareil fig. 10. Chacun d'eux renferme :

10 grammes de sucre.
100 centimètres cubes d'eau de levûre de bière (0,5 de matière solide).
1 gramme de carbonate de chaux.

Après les avoir remplis d'air calciné, je les ferme à la lampe d'émailleur, et je les dépose à l'étuve.

Le 25 mars, le liquide de ces ballons est trouble, et tout annonce qu'ils renferment des infusoires. Le trouble a commencé pour trois d'entre eux dès le 23 mars.

J'ouvre un de ces ballons le 25 mars, et je trouve, en effet, le liquide rempli de très petits vibrions dont plusieurs se meuvent visiblement, quoique avec beaucoup de lenteur; ils sont comme malades. Le 5 avril, les quatre ballons qui n'ont pas été ouverts montrent à leur surface un mucor gélatineux, épais, chagriné et de couleur rougeâtre. Au microscope, ce mucor est constitué par un amas de granulations d'une extrême ténuité. Au fond du liquide se trouve un dépôt de cadavres de petits vibrions. Je pense que ce mucor est une espèce cryptogamique végétale indépendante de la production des vibrions, et que, conséquemment, le germe de ce mucor particulier, aussi bien que le germe des vibrions, a résisté, dans ces conditions particulières, à la température de 100° pendant deux à trois minutes.

Si maintenant nous répétons ces mêmes essais en faisant bouillir le liquide à 105° seulement, comme nous l'avons fait tout à l'heure pour le lait, dans aucun cas on ne verra se former le moindre trouble, ni mucorée quelconque. Dès lors, il n'est pas douteux que, si le lait s'altère en présence de l'air calciné, lorsqu'il n'a subi qu'une ébullition à 100°, c'est qu'il est légèrement alcalin, puisqu'il suffit d'ajouter un peu de craie à l'eau de levûre sucrée pour lui communiquer les mêmes propriétés, propriétés qu'elle n'a jamais si elle est mise à bouillir sans addition de craie.

Mais poursuivons ces études, et voyons ce qui arrive en présence de l'air calciné, lorsque l'on sème les poussières de l'air dans du lait conservé intact par une ébullition à 100 et quelques degrés.

Le 7 avril 1860, je fais passer dans un ballon, dont le lait, bouilli à 108°, est resté sans altération depuis deux mois, une portion d'une petite bourre d'amiante chargée des poussières en suspension dans l'air.

Le 9 et le 10 avril, le lait paraît intact. Mais déjà le 10 avril au soir, la couche crémeuse de la surface emprisonne des bulles de gaz. J'agite pour les faire disparaître; deux heures après, de nouvelles bulles sont déjà reformées. Le 11, la fermentation continue à se manifester par

des bulles de gaz; mais le lait n'est pas caillé. Le 12, même état que la veille.

Le 15 avril, le lait, sans être caillé, paraît éclairci. J'ouvre le ballon sur la cuve à mercure, afin d'en étudier le contenu. Une quantité notable de gaz sort avec force du ballon; il est donc certain qu'il y a eu fermentation. Cependant le liquide n'est pas acide; il a même encore au papier de tournesol rouge un soupçon d'alcalinité. Son odeur est faible, quoique sensible et toute particulière; c'est l'odeur du lait aigre, ou plus exactement l'odeur des petits enfants à la mamelle lorsqu'ils sont mal soignés. La saveur du lait est douce en premier lieu, puis elle fait bientôt place à une autre saveur très désagréable qui a quelque chose d'amer et de poivré. Exposé pendant quelques instants au bain-marie, le lait se caille aussitôt en donnant un petit-lait tout opaque. Au microscope, on voit mêlés aux globules de beurre une foule de petits articles souvent étranglés au milieu : c'est la variété allongée du *bacterium termo*, qui était mêlée, en outre, au *vibrio lineola* de petite dimension. Tous sont sans mouvement. On voit, d'autre part, une foule d'articles d'un diamètre presque double, caractérisés par une espèce de tête sphérique à une extrémité. Leur nombre est au moins égal à celui des bacteriums et des vibrions. Comme eux, ils sont sans mouvements apparents.

Voici l'analyse du gaz :

Oxygène	2,3
Acide carbonique	28,6
Hydrogène	11,0
Azote par différence	58,1
	100,0.

J'ai répété cette expérience à diverses reprises sur le lait ou sur l'eau de levûre sucrée mêlée de carbonate de chaux; elle a toujours donné des résultats analogues, c'est-à-dire qu'il ne m'est jamais arrivé de semer les poussières de l'air, dans des liqueurs conservées intactes par le moyen que j'ai indiqué, sans voir apparaître au bout de très peu de jours, soit des mucors ou mucédinées diverses, soit des infusoires. Il résulte de là que si le lait bouilli à 100 et quelques degrés ne s'altère ni ne se caille au contact de l'air chauffé, ce n'est pas qu'il en ait perdu la propriété, puisqu'il suffit d'y déposer des poussières recueillies dans l'air ordinaire pour le voir donner lieu à des productions organisées de même ordre que celles que le lait frais montre, au bout de quelques jours, quand on l'expose à l'air ordinaire. Conséquemment, s'il se putréfie et présente des infusoires au contact de l'air chauffé, lorsqu'il n'a été bouilli qu'à 100°, c'est évidemment que

les germes de ces infusoires résistent à la température de 100° pendant quelques minutes. L'expérience suivante achèvera d'en donner une preuve directe.

Un ballon de lait est conservé intact depuis deux mois en présence de l'air calciné. J'y dépose des poussières de l'air en suivant la méthode indiquée fig. 12, et décrite au chapitre IV. Je referme immédiatement le ballon à la lampe, et je le porte tout entier dans une marmite pleine d'eau en ébullition vive. Je l'y ai laissé cinq minutes, et je l'ai retiré alors pour le porter à l'étuve : c'était le 24 juillet 1860. Le 30 juillet, il commence visiblement à se cailler; le 31, il l'est complètement. Je l'ouvre alors pour étudier le liquide au microscope; j'y découvre une foule de bacteriums et de vibrions très agiles. Au papier de tournesol rouge, le petit-lait a conservé toute son alcalinité première.

J'aurais bien désiré rechercher quelle est la véritable origine des germes des vibrions qui apparaissent dans le lait bouilli à 100°, puis exposé à l'air calciné. Ces germes existent-ils dans le lait naturel? Cela n'est pas impossible. Cependant je suis plus porté à croire qu'ils appartiennent simplement aux poussières qui tombent dans le lait pendant et après la traite, ou qui se trouvent toujours dans les vases employés pour recueillir le lait. J'ai rencontré des difficultés que je n'ai pas encore levées, pour introduire dans mes ballons, en présence de l'air chauffé, du lait naturel, n'ayant eu aucun contact avec l'air ordinaire. J'ai pu réaliser convenablement l'expérience avec l'urine, et j'ai vu que cette liqueur restait tout à fait sans altération au contact de l'air calciné, bien qu'elle n'eût subi aucune élévation de température. Néanmoins, ce sont des expériences que je me propose de reprendre et de suivre avec des soins particuliers. Tout le monde en comprendra l'importance.

CHAPITRE VI

Autre méthode très simple pour démontrer que toutes les productions organisées des infusions (préalablement chauffées) ont pour origine les corpuscules qui existent en suspension dans l'air atmosphérique.

Je crois avoir établi rigoureusement dans les chapitres précédents que toutes les productions organisées des infusions, préalablement chauffées, n'ont d'autre origine que les particules solides que l'air charrie toujours et qu'il laisse constamment déposer sur tous les

objets. S'il pouvait rester encore le moindre doute à cet égard dans l'esprit du lecteur, il serait levé par les expériences dont je vais parler.

Je place dans un ballon de verre une des liqueurs suivantes, toutes fort altérables au contact de l'air ordinaire, eau de levûre de bière,

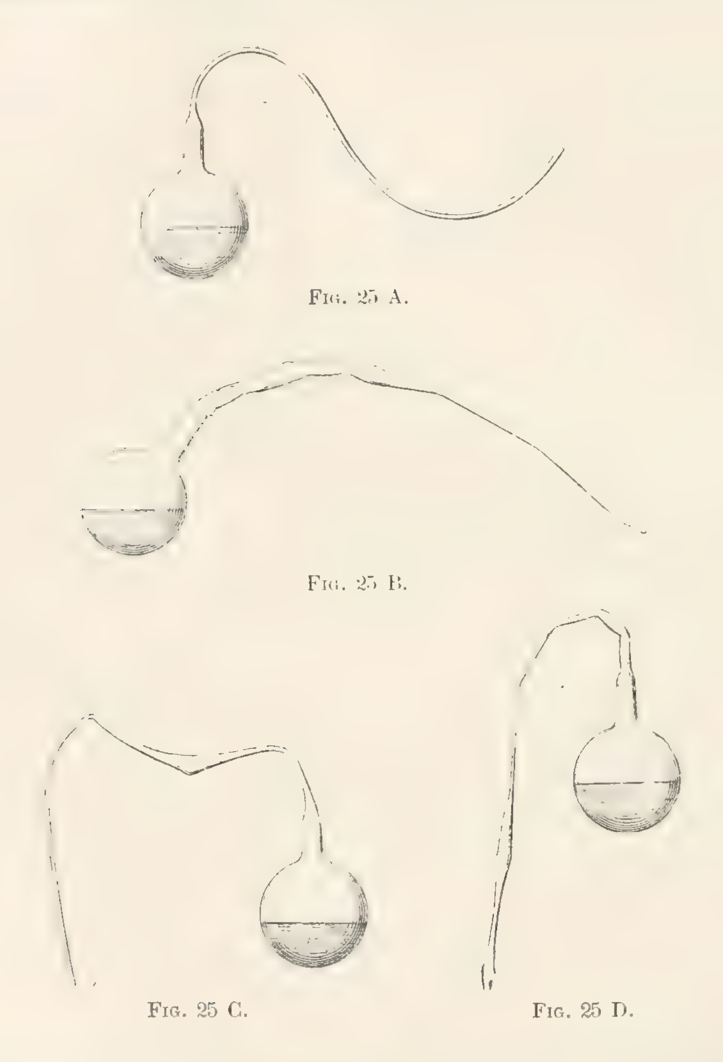


Fig. 25 A.

Fig. 25 B.

Fig. 25 C.

Fig. 25 D.

eau de levûre de bière sucrée, urine, jus de betteraves, eau de poivre; puis j'étire à la lampe le col du ballon de manière à lui donner diverses courbures, comme l'indiquent les figures 25. Je porte ensuite le liquide à l'ébullition pendant quelques minutes jusqu'à ce que la vapeur d'eau sorte abondamment par l'extrémité du col effilé restée ouverte, sans autre précaution. Je laisse alors refroidir le ballon. Chose singulière, bien faite pour étonner toute personne habituée à la

délicatesse des expériences relatives aux générations dites spontanées, le liquide de ce ballon restera indéfiniment sans altération. On peut le manier sans aucune crainte, le transporter d'un lieu à un autre, lui laisser subir toutes les variations de température des saisons, et son liquide n'éprouve pas la plus légère altération et conserve son odeur et sa saveur; c'est une conserve d'Appert excellente. Il n'y aura d'autre changement dans sa nature que celui que peut apporter, dans certains cas, une oxydation directe, purement chimique, de la matière. Mais nous avons vu, par les analyses que j'ai fait connaître dans ce Mémoire, combien cette action de l'oxygène était bornée, *toutes les fois qu'il n'y avait pas de productions organisées développées dans les liqueurs* (1).

Il semble que l'air ordinaire, rentrant avec force dans les premiers

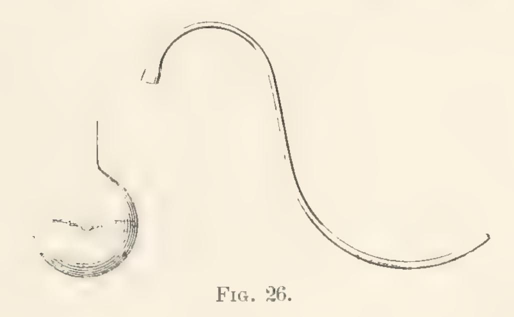


FIG. 26.

moments, doit arriver tout brut dans le ballon. Cela est vrai, mais il rencontre un liquide encore voisin de la température de l'ébullition. La rentrée de l'air se fait ensuite avec plus de lenteur, et lorsque le liquide est assez refroidi pour ne plus pouvoir enlever aux germes leur vitalité, la rentrée de l'air est assez ralentie pour qu'il abandonne dans les courbures humides du col toutes les poussières capables d'agir sur les infusions et d'y déterminer des productions organisées. Du moins, je ne vois pas d'autre explication possible à ces curieuses expériences. Que si, après un ou plusieurs mois de séjour à l'étuve, on détache le col du ballon par un trait de lime, sans toucher autrement au ballon (fig. 26), et après vingt-quatre, trente-six ou quarante-huit heures, les

1. Je montrerai, dans des travaux ultérieurs, l'importance de cette dernière remarque. Je ferai voir que beaucoup d'êtres inférieurs ont la propriété de transporter l'oxygène de l'air, en quantité considérable, sur les matières organiques complexes, et que c'est un des moyens dont se sert la nature pour transformer en eau, acide carbonique, oxyde de carbone, azote, acide nitrique, ammoniaque, les éléments des substances organiques, élaborées sous l'influence de la vie.

On peut par exemple, à l'aide des mycodermes, réduire en eau et en acide carbonique des masses énormes d'alcool ou d'acide acétique; et par le développement, relativement faible, d'une mucédinée quelconque, brûler un poids très élevé de sucre, d'acide tartrique, d'acide citrique, de matière albuminoïde.....

moisissures et les infusoires commenceront à se montrer absolument comme à l'ordinaire, ou comme si l'on avait semé dans le ballon les poussières de l'air, suivant la méthode de la figure 12.

Les mêmes expériences peuvent se répéter sur le lait, pourvu qu'on ait la précaution de produire l'ébullition sous pression à la température de 100 et quelques degrés, à l'aide de l'appareil (fig. 10 et fig. 10 *bis*), et de laisser le ballon se refroidir pendant qu'il y rentre de l'air calciné. On peut alors abandonner à lui-même le ballon ouvert. Le lait se conserve sans altération. J'ai pu laisser plusieurs mois, à l'étuve de 25 à 30°, du lait préparé de cette manière, sans qu'il s'altère. On constate seulement un léger épaississement de la crème dû à une oxydation chimique directe.

Je ne connais rien de plus probant que ces expériences si faciles à répéter et que l'on peut varier de mille façons.

Je croyais à l'origine qu'il était indispensable, soit de faire rentrer de l'air calciné, une première fois, pendant le refroidissement du liquide du ballon, soit de maintenir le ballon constamment à la même température afin que l'air extérieur ordinaire ne pût en quelque sorte rentrer dans le ballon que par diffusion lente; mais j'ai reconnu ensuite que toutes ces précautions étaient exagérées. Dans les changements de température, le mouvement de l'air ne se fait sentir que dans le col avec quelque intensité, et c'est là seulement qu'il peut y avoir dépôt des germes que l'air transporte. On n'arrive à provoquer des productions organisées dans le liquide que par une très brusque agitation du liquide. Un autre moyen, qui réussit le plus souvent, pour déterminer l'apparition des productions, consiste à fermer l'extrémité effilée du ballon aussitôt après, ou mieux, pendant l'ébullition. Le vide se fait ensuite par la condensation de la vapeur d'eau. Alors on débouche l'extrémité fermée du col recourbé, l'air extérieur rentre avec force, emportant avec lui toutes ses poussières jusqu'au contact du liquide. Dans ce cas une altération du liquide se manifeste le plus souvent au bout de quelques jours.

Je dois ajouter que j'ai en ce moment dans mon laboratoire plusieurs liqueurs très altérables conservées depuis dix-huit mois (1) dans des vases ouverts à cols recourbés et inclinés, notamment plusieurs de ceux qui ont été déposés sur le bureau de l'Académie des sciences, dans sa séance du 6 février 1860, lorsque j'ai eu l'honneur de lui faire connaître ces nouveaux résultats (2).

1. Aujourd'hui encore, après 62 ans, les liquides de ces ballons sont restés inaltérés.
2. PASTEUR. Expériences relatives aux générations dites spontanées. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, L, 1860, p. 303-307, et p. 187-191 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

Le grand intérêt de cette méthode, c'est qu'elle achève de prouver sans réplique que l'origine de la vie, dans les infusions qui ont été portées à l'ébullition, est uniquement due aux particules solides en suspension dans l'air. Gaz, fluides divers, électricité, magnétisme, ozone, choses connues ou choses occultes, il n'y a absolument rien dans l'air atmosphérique ordinaire qui, en dehors de ses particules solides, soit la condition de la putréfaction ou de la fermentation des liquides que nous avons étudiés.

Le Dr Schwann, et ceux qui ont répété ou modifié ses expériences, ainsi que je l'ai déjà dit, avaient établi que ce n'est pas l'oxygène, ou du moins l'oxygène seul, qui est la condition de la vie dans les infusions, mais quelque chose, un principe inconnu, que la chaleur détruit (Schwann), que le coton détruit (Schrœder et von Dusch), que détruisent les réactifs chimiques énergiques (Schulze). Là s'arrêtait l'expérience. Ces incertitudes et ces hésitations, dont nous trouvons la trace dans le Mémoire de M. Schwann, et surtout dans les travaux de M. Schrœder, autorisaient, soit l'hypothèse des germes disséminés, soit l'hypothèse de l'existence dans l'air d'un principe chimique ou physique, conclusion à laquelle M. Schrœder s'était arrêté.

Dans des recherches de cette nature, où l'esprit est dominé à son insu par le mystère impénétrable de l'origine de la vie à la surface du globe, je ne crois pas qu'il puisse y avoir d'hypothèses, si étranges soient-elles, qui ne trouvent crédit. On ne peut parvenir à les éloigner que par des faits bien étudiés et rigoureusement démontrés. Il faut instituer, comme le dit avec autant de justesse que d'autorité la Commission du prix proposé par l'Académie, « instituer des expériences précises, rigoureuses, également étudiées dans toutes leurs circonstances, et telles en un mot qu'il puisse en être déduit quelque résultat dégagé de toute confusion née des expériences mêmes ».

Je me suis efforcé de donner ce caractère à mes expériences. Si je ne me trompe, celles que j'ai fait connaître dans les chapitres précédents prouvent réellement ce qu'elles ont la prétention de prouver et qui se résume dans cette double proposition :

1°. Il y a constamment dans l'air des corpuscules organisés qu'on ne peut distinguer des véritables germes des organismes des infusions.

2°. Lorsqu'on sème les corpuscules, et les débris amorphes qui leur sont associés, dans des liqueurs qui ont été soumises à l'ébullition et qui resteraient intactes dans l'air préalablement chauffé si l'on n'y pratiquait pas cet ensemencement, on voit apparaître dans ces liqueurs

exactement les mêmes êtres qu'elles développent à l'air libre [1].

Cela posé, un partisan des générations spontanées veut-il continuer à soutenir ses principes, même en présence de cette double proposition? Il le peut encore; mais alors son raisonnement sera forcément celui-ci, et j'en laisse juge le lecteur :

« Il y a dans l'air, dira-t-il, des particules solides, telles que carbonate de chaux, silice, suie, brins de laine, de coton, fécule, ..., et à côté des corpuscules organisés d'une parfaite ressemblance avec les spores des mucédinées ou avec les œufs des infusoires. Eh bien, je préfère placer l'origine des mucédinées et des infusoires dans les premiers corpuscules amorphes plutôt que dans les seconds. »

A mon avis, l'inconséquence d'un pareil raisonnement ressort d'elle-même. Tout le progrès de mes recherches consiste à y avoir acculé les partisans de la doctrine de l'hétérogénie.

CHAPITRE VII

Il n'est pas exact que la plus petite quantité d'air ordinaire suffise pour faire naître dans une infusion les productions organisées propres a cette infusion. — Expériences sur l'air de localités diverses. — Inconvénients de l'emploi de la cuve a mercure dans les expériences relatives aux générations dites spontanées.

J'ai déjà indiqué dans la partie historique de ce Mémoire l'influence qu'avait eue, dans le sujet qui nous occupe, un travail célèbre de Gay-Lussac relatif à l'air des conserves d'Appert, et l'interprétation que l'illustre physicien avait déduite de ses expériences. Voici ses propres expressions :

« On peut se convaincre, en analysant l'air des bouteilles dans lesquelles les substances ont été bien conservées, qu'il ne contient plus d'oxygène, et que l'absence de ce gaz est, par conséquent, une

1. Le lecteur remarquera le soin que je mets à indiquer toujours qu'il s'agit dans mes expériences d'infusions qui ont été portées à l'ébullition. J'espère pouvoir rechercher bientôt les effets de l'air calciné sur les liquides bruts de l'économie animale, tels que le sang, le lait, l'urine, ou sur les jus bruts des végétaux *. On sait que la plupart des substances solubles ou insolubles qu'élaborent les animaux et les végétaux, possèdent certaines propriétés spéciales, qu'elles perdent sous l'influence d'une température plus ou moins élevée. Ces matières, au nombre desquelles se trouvent les produits du genre de la pepsine, de la diastase..., n'interviennent-elles pas dans le développement ou dans les modifications morphologiques des êtres inférieurs? C'est une question qu'il me paraît utile d'examiner, et que j'aborderai prochainement.

* Pasteur donna quelques mois plus tard le résultat de ces recherches. *Voir*, p. 170 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

condition nécessaire pour la conservation des substances animales et végétales (1). »

Que l'air des conserves étudiées par Gay-Lussac fût privé d'oxygène, il n'y a pas à en douter. Personne n'oserait suspecter l'exactitude d'une analyse d'air faite par Gay-Lussac. Cependant il n'est pas douteux aujourd'hui, bien que personne, à ma connaissance, n'ait repris avec suite ces expériences de Gay-Lussac, que les conserves d'Appert peuvent renfermer de l'oxygène, surtout lorsqu'elles sont de nouvelle préparation. Il résulte des analyses d'air que j'ai rapportées [pages 234, 249, 256], que l'oxygène de l'air rendu inactif par la chaleur, selon la méthode de Schwann, se combine directement avec les matières organiques, et en dégage de l'acide carbonique, mais c'est une action très lente. Néanmoins le fait d'oxydation directe existe, il n'y a pas à le nier. Cette oxydation peut être plus sensible dans les conserves d'Appert au moment où on les prépare, à cause de l'élévation de la température. Dans tous les cas, si la préparation y laisse de l'oxygène, ce gaz disparaîtra peu à peu par l'effet de cette oxydation directe dont je viens de parler. Il y a une circonstance qui doit contribuer beaucoup à rendre très faible ou nulle la quantité d'oxygène restant dans les conserves d'Appert : c'est le rapport des volumes d'air et de matière organique. Elles contiennent toujours peu d'air et beaucoup de matière, circonstance très favorable pour que le phénomène d'oxydation s'achève. Mais, je le répète, rien ne serait plus facile que de préparer des conserves en y laissant de l'oxygène, et il y a lieu de croire que souvent elles en renferment. L'expérience de Schwann ne laisse aucun doute à cet égard.

C'est pourquoi l'interprétation donnée par Gay-Lussac aux résultats de ses analyses, à savoir que *l'absence de l'oxygène est une condition de la conservation*, est tout à fait erronée. Tout le monde n'a pas su faire ce départ entre la vérité des faits observés par Gay-Lussac et l'erreur de son interprétation. Le Dr Schwann doit être regardé à juste titre comme l'auteur de la véritable théorie des procédés d'Appert. Les conserves d'Appert continuent de se conserver en présence de l'air chauffé : voilà sa découverte. Le secret de leur conservation est donc dans la destruction par la chaleur d'un principe que l'air ordinaire renferme, et non dans l'absence de l'oxygène (2).

1. Gay-Lussac. Extrait d'un Mémoire sur la fermentation. *Annales de chimie*, LXXVI, 1810, p. 252. (*Note de l'Édition.*)

2. Bien que le fait de l'absence du gaz oxygène n'ait pas à intervenir dans l'explication du procédé, il ne faudrait pas en conclure que l'on pourrait dans la pratique laisser sans danger beaucoup d'air dans les conserves. Car si la chaleur n'a pas détruit tous les germes d'infusoires et de mucédinées apportés par l'air ou les matières, ces germes encore féconds pourront

Mais il y a une extension des expériences de Gay-Lussac, à laquelle la découverte de Schwann n'avait porté aucune atteinte, qu'elle aurait servi plutôt à confirmer, extension que les adversaires de la doctrine des générations spontanées n'ont pas contestée, et sur laquelle les partisans de cette doctrine appuient à juste titre une de leurs principales objections. C'est à savoir que la plus petite quantité d'air commun, mise en contact d'une infusion, y détermine en peu de temps la naissance des mucédinées et des infusoires habituellement propres à cette infusion.

Cette manière de voir a toujours eu pour appui, au moins indirect, l'habitude prise et jugée indispensable par les observateurs d'éloigner avec des précautions infinies, dans leurs expériences, l'accès de l'air ordinaire. Nous l'avons vu, tantôt ils recommandent de calciner l'air commun, tantôt ils le soumettent aux agents chimiques énergiques; souvent ils placent préalablement toutes ses parties au contact de la vapeur d'eau à 100° (expérience de Spallanzani); enfin ils opèrent d'autres fois avec de l'air artificiel, et, s'il arrive, dans une de ces conditions diverses, que l'expérience donne lieu à des productions organisées, ils n'hésitent pas à affirmer que l'opérateur n'a pas su éviter complètement l'influence cachée d'une petite portion d'air ordinaire, si petite soit-elle.

Dès lors les partisans des générations spontanées s'empressent de faire remarquer avec raison que, si la plus minime portion d'air ordinaire développe des organismes dans une infusion quelconque, il faut de toute nécessité, au cas où ces organismes ne sont pas spontanés, que, dans cette portion si petite d'air commun, il y ait les germes d'une multitude de productions diverses; et qu'enfin, si les choses sont telles, l'air ordinaire, selon les expressions de M. Pouchet, doit être encombré de matière organique; elle y formerait un épais brouillard.

Ce raisonnement est assurément fort sensé. Il le serait davantage encore s'il était bien établi que les espèces inférieures, qui se montrent fort distinctes, le sont réellement, et proviennent par conséquent de germes différents. Cela est vraisemblable, mais cela n'est pas prouvé.

se développer s'il y a de l'oxygène, tandis que, si ce gaz est absent, ils ne se développeront pas plus que s'ils avaient été réellement privés de vie. Mais je pense que, ce qui est toujours à craindre et surtout dans les cas où il y a peu d'oxygène, ce sont les germes des ferments végétaux ou animaux, ferments qui n'ont pas besoin d'air pour vivre, et dont les germes doivent être nécessairement tués par la chaleur. Je suis persuadé que c'est là le danger que le fabricant doit le plus redouter, et je suis porté à croire, par exemple, que les animalcules infusoires butyriques, que j'ai fait connaître récemment [*voir*, p. 136-138 du présent volume], se développent dans certaines conserves mal préparées.

Il y a donc là une difficulté sérieuse, en apparence très fondée. Mais n'est-elle pas le fruit d'exagérations et de faits plus ou moins erronés? Est-il vrai, comme on l'admet, qu'il y a continuité de la cause des générations dites spontanées dans l'atmosphère terrestre? Est-il bien sûr que la plus petite quantité d'air ordinaire suffise à développer dans une infusion quelconque des productions organisées?

Les expériences suivantes répondent à toutes ces questions.

Dans une série de ballons de 250 centimètres cubes, j'introduis la même liqueur putrescible (eau albumineuse provenant de la levûre de bière; la même, sucrée; urine, etc.), de manière qu'elle occupe le tiers environ du volume total. J'effile les cols à la lampe, puis je fais bouillir la liqueur, et je ferme l'extrémité effilée pendant l'ébullition. Le vide se trouve fait dans les ballons; alors je brise leurs pointes dans un lieu déterminé. L'air ordinaire s'y précipite avec violence, entraînant avec lui toutes les poussières qu'il tient en suspension, et tous les principes connus ou inconnus qui lui sont associés. Je referme alors immédiatement les ballons par un trait de flamme, et je les transporte dans une étuve à 25 ou 30°, c'est-à-dire dans les meilleures conditions de température pour le développement des animalcules et des mucors.

Voici les résultats de ces expériences, qui sont en désaccord avec les principes généralement admis et parfaitement conformes, au contraire, avec l'idée d'une dissémination des germes.

Le plus souvent, en très peu de jours, la liqueur s'altère, et l'on voit naître dans les ballons, bien qu'ils soient placés dans des conditions identiques, les êtres les plus variés, beaucoup plus variés même, surtout en ce qui regarde les mucédinées et les torulacées, que si les liqueurs avaient été librement exposées à l'air ordinaire. Mais, d'autre part, il arrive fréquemment, plusieurs fois dans chaque série d'essais, que la liqueur reste absolument intacte, quelle que soit la durée de son exposition à l'étuve, comme si elle avait reçu de l'air calciné.

Ce mode d'expérimentation me paraît aussi simple qu'irréprochable pour démontrer que l'air ambiant n'offre pas, à beaucoup près, avec continuité, la cause des générations dites spontanées, et qu'il est toujours possible de prélever dans un lieu et à un instant donnés un volume considérable d'air ordinaire, n'ayant subi aucune espèce d'altération physique ou chimique, et néanmoins tout à fait impropre à donner naissance à des infusoires ou à des mucédinées dans une liqueur qui s'altère très vite et constamment au libre contact de l'air. Le succès partiel de ces expériences nous dit assez d'ailleurs que, par l'effet des mouvements de l'atmosphère, il passera toujours, à la surface d'une liqueur qui aura été placée bouillante dans un vase découvert,

une quantité d'air suffisante pour qu'elle en reçoive des germes propres à s'y développer dans l'espace de deux ou trois jours.

J'ai dit que les productions sont plus variées dans les ballons que si le contact avec l'air était libre. Rien de plus naturel, car, en limitant la prise d'air et en la répétant nombre de fois, on saisit en quelque sorte les germes de l'air avec toute la variété sous laquelle ils s'y trouvent. Les germes, en petit nombre, d'un volume limité d'air, ne sont pas gênés dans leur développement par des germes plus nombreux ou d'une fécondité plus précoce, capables d'envahir le terrain, en ne laissant place que pour eux. C'est ainsi que le *penicillium glaucum*, dont les spores sont vivaces et fort répandues, se montre seul au bout de très peu de jours dans des liqueurs non renfermées, qui offrent au contraire des productions très diverses lorsqu'on les soumet à des quantités d'air limitées.

Enfin il est très intéressant de signaler les différences que l'on observe dans le nombre des résultats négatifs de ces expériences, suivant les conditions atmosphériques. Ici encore nous trouvons une confirmation frappante de l'opinion que je défends.

Rien de plus facile, en effet, que d'élever ou de réduire soit le nombre des ballons qui s'altèrent, soit le nombre des ballons qui restent intacts. C'est ce qui ressortira des détails dans lesquels je vais entrer.

A. — *Expériences préliminaires propres à mettre en évidence le fait de la non-continuité de la cause des générations dites spontanées.*

Le 26 mai 1860, j'ouvre et je referme aussitôt après, sur une terrasse en plein air, à quelques mètres au-dessus du sol, deux ballons renfermant l'un de l'eau de levûre, l'autre la même liqueur sucrée au $\frac{1}{10}$. C'était quelques instants après une pluie légère et de très courte durée.

Le 1er juin, il n'y a aucune apparence de productions organisées.

Le 2, très petite touffe de moisissure dans un des ballons, celui d'eau de levûre sucrée.

Le 8, le deuxième ballon offre également une petite touffe de moisissure.

Les deux liquides sont parfaitement limpides, et restent tels pendant l'accroissement des myceliums [1].

1. Je signalerai ici un fait instructif qui me paraît bien en harmonie avec les résultats généraux de ce travail. En se reportant aux détails des expériences des chapitres IV et suivants,

Le 28 mai 1860, j'ouvre et je referme quatre ballons sur la même terrasse, après une violente ondée à très grosses gouttes de pluie.

Le 4 juin, aucune apparence de production.

Le 5, petite touffe de moisissure dans l'un des ballons. Liquide très limpide.

Le 6, autre touffe de moisissure dans un deuxième ballon. Liquide très limpide.

Les deux autres ballons sont restés intacts, très limpides. Même état en 1861.

Le 20 juillet 1860, j'ouvre et je referme six ballons renfermant de l'eau de levûre, dans une des pièces de mon laboratoire. Aujourd'hui encore (avril 1861), le liquide de quatre de ces ballons est parfaitement limpide, sans la moindre apparence de productions organisées. Les deux autres ont offert promptement des productions, le 22 juillet et le 1er août. Dans l'un, infusoires et torulacées; dans l'autre, mycelium en boule soyeuse.

Le 30 juin, j'ai ouvert et refermé un grand nombre de ballons contenant de l'eau de levûre non sucrée, dans le but d'étudier au microscope les productions qui prendraient naissance, afin d'avoir une idée de la variété sous laquelle elles se présentent. J'ai reproduit, fig. 27 A, B, C, D, E, F, G, H, K, L, M, un certain nombre de mes dessins.

A. Bacteriums de $0^{mm},0006$ de diamètre, et $0^{mm},005$ pour la plus grande longueur (1).

on verra qu'il n'est jamais arrivé qu'en semant des bourres de coton ou d'amiante, chargées des poussières d'un grand volume d'air, dans des infusions diverses, les productions organisées ne s'y soient montrées dès le lendemain ou le surlendemain. Dans les expériences du présent chapitre, au contraire, on reconnaît que la vie met quelquefois un temps considérable à se manifester, huit, douze, quinze jours. Cela se conçoit très bien. Dans le premier cas, il y a tant de germes semés, qu'il en existe toujours dont la fécondité est presque aussi précoce que celle des germes les plus sains de ce genre de productions. Dans le second cas, où l'on sème en définitive les germes d'un volume très limité d'air, il doit arriver souvent que ceux qui pénètrent dans le ballon sont en mauvais état, et d'un développement rendu pénible par toutes les causes d'altération auxquelles ils ont dû être exposés dans l'atmosphère.

1. Ces bacteriums, mêlés peut-être à de très petits vibrions, ont apparu dans le ballon le 2 juillet, sans aucune autre production quelconque. Le 4 juillet, j'ai analysé l'air du ballon, au moment où l'étude du liquide trouble venait de me montrer qu'il était rempli de ces petits infusoires très fragiles. Or l'air renfermait :

Oxygène	4,3
Acide carbonique	14,3
Hydrogène	0,0
Azote par différence	81,4
	100,0

Cette analyse nous indique combien est grande la proportion d'oxygène absorbée par ces très petits infusoires, et transformée en acide carbonique. Ils ont commencé à se montrer le 2 juillet, s'annonçant comme à l'ordinaire par un léger trouble du liquide. Le 3 et le 4 juillet

B. Torulacée en très petits globules, d'une sphéricité parfaite, de $0^{mm},0015$ de diamètre, et réunis en petits chapelets.

C. Mucor et vibrions.

D. Torulacée, dont les cellules ont un diamètre de $0^{mm},004$ à

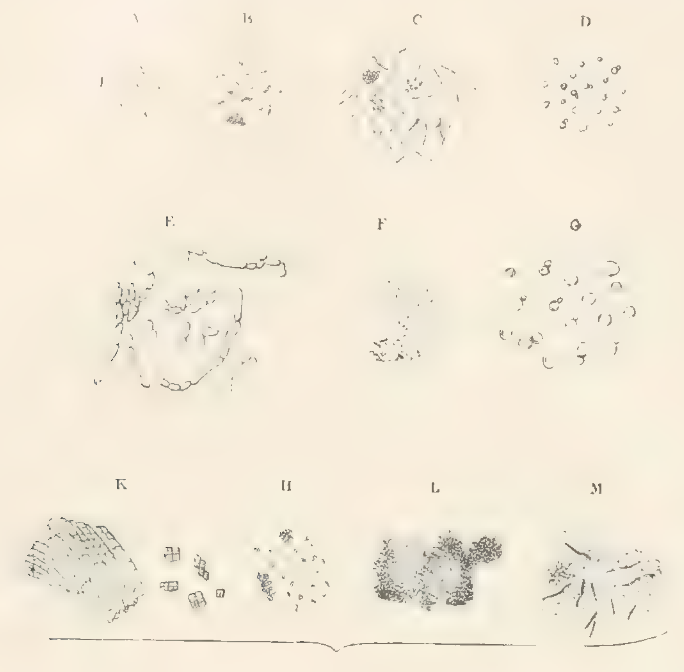


Fig. 27.

$0^{mm},007$. Elle est assez fréquente, comme j'ai déjà eu l'occasion de le dire.

E. *Mycoderma* pareil à celui de la bière, du vin, etc., en articles de toutes les dimensions, et plus ou moins rameux.

F. Infusoires d'une petitesse infinie. La plus petite des monades se mouvant avec une agilité extraordinaire. Ce sont des points à peine perceptibles.

G. Torulacée en beaux globules bourgeonnés, un peu granuleux dans leur intérieur, dont le diamètre varie de $0^{mm},006$ à $0^{mm},009$. Elle

ils ont continué à se multiplier, et après quarante-huit heures environ, ils avaient déjà utilisé un volume considérable d'oxygène.

Le ballon renfermait 80 centimètres cubes de liquide et 160 centimètres cubes d'air.

Il eût été impossible de recueillir les bacteriums sur un filtre et d'en prendre le poids, parce qu'ils passent à travers les pores du filtre, mais ce poids à l'état sec devait être fort minime, tout au plus de quelques milligrammes. Par conséquent, le poids d'oxygène, transformé en acide carbonique par la vie de ces petits êtres, était ici supérieur au poids total de leur substance. Il serait possible que cela ne fût pas un effet de respiration pure. Consulter à cet égard la note page [261].

ressemble parfaitement à la levûre de bière; elle ressemble beaucoup également à la torulacée D, mais elle est un peu plus grosse et un peu plus granuleuse (1).

H. Torulacée en granulations visqueuses, qui s'attachent fortement aux parois du ballon, qu'on a peine à en détacher, et où elles forment une couche continue.

Le diamètre des granulations est exactement celui de la torulacée B; mais celle-ci est sous forme de chapelets, et n'adhère pas aux vases. Je crois que ce sont des espèces distinctes, malgré leur ressemblance.

K. Algue formée de cellules quaternaires, déposée sous forme de précipité sur les parois du ballon; on dirait au microscope des assises de pierre. Sous l'influence de l'acide chlorhydrique étendu d'eau, les amas de cellules se disjoignent par petits groupes de quatre cellules.

L. Mucorée en pellicule rougeâtre s'étendant à la surface du liquide, se déchirant très facilement, et tombant en lambeaux au fond du liquide où elle a l'aspect d'un chiffon. Écrasée sous la petite lame de verre, au microscope elle offre des amas des plus fines granulations, qui fourmillent dans les canaux qui séparent ces amas.

M. Mucor en granulations très ténues, mêlées à des vibrions de longueur variable, à mouvements flexueux.

1. De toutes les productions organisées inférieures, la levûre de bière est celle qui a été, le plus souvent, l'objet des contestations des partisans et des adversaires de la doctrine des générations spontanées. Son apparition, si rapide et si facile dans certains liquides fermentescibles, a toujours été invoquée par les hétérogénistes comme un de leurs arguments favoris. Il est certain que l'origine de cette plante offre un sujet d'étude fort intéressant et enveloppé d'obscurités.

Quelques botanistes allemands, M. Bail entre autres [Ueber Hefe, *Flora*, XL, 1857, p. 417-430 et 433-434], ont cherché à tourner la difficulté en essayant de prouver, comme l'avait déjà tenté en France M. Turpin, que la levûre de bière n'était qu'une *forme de spores* des mucédinées vulgaires, telles que le *penicillium glaucum*, l'*ascophora elegans*...

Cette thèse a été reproduite récemment par M. Hoffmann [Mykologische Studien über die Gährung. *Botanische Zeitung*, XVIII, 1860, p. 41-46 et 49-54] et par MM. Pouchet et Joly [Recherches sur l'origine, la germination et la fructification de la levûre de bière. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LIII, 1861, p. 368-371], qui l'ont mise en harmonie avec leurs idées favorites.

J'espère publier très prochainement l'ensemble de mes observations sur ce sujet. [*Voir*, p. 150-158 du présent volume.]

Si la levûre était d'origine spontanée, *il y aurait forcement dans la liqueur où elle prend naissance toutes les dimensions de globules depuis le point apercevable, ce qui n'arrive jamais*. En outre, rien n'est plus facile, en maintenant l'œil assez longtemps au microscope, que d'assister au bourgeonnement des cellules et à la séparation des globules adultes.

Lorsqu'on représente la levûre de bière, c'est une grave erreur de figurer des globules de toutes les tailles depuis les plus fines granulations, comme l'a fait M. Pouchet dans la fig. 14, Pl. II, de « Hétérogénie, ou Traité de la génération spontanée » [*Paris*, 1859, in-8°]. M. Turpin avait déjà commis cette faute, qui était nécessaire à sa « Théorie des globulins » *.

* Ces deux derniers alinéas ne figurent pas dans les *Annales des sciences naturelles*. (*Note de l'Édition*.)

Que l'on ajoute à ces figures, où j'ai de préférence représenté les mucors, les torulacées et les infusoires les plus fréquents, des dessins d'une foule de myceliums en tubes cloisonnés qui viennent s'étaler ensuite à la surface du liquide en membranes gélatineuses humides, épaisses, ou en membranes composées de lacis de tubes et couvertes de sporanges de couleur verte, rouge-orangé, jaune-verdâtre, brun-noirâtre, etc..., offrant les espèces les plus variées, et l'on aura une idée de ce que peut donner d'espèces distinctes l'eau de levûre placée sous l'influence de quantités limitées d'air ordinaire dans une série de ballons préparés comme je l'ai indiqué.

Ce sont ces mêmes espèces que la même liqueur fournirait au libre contact de l'air; mais, pour les retrouver toutes, il faudrait multiplier davantage les essais, parce que des prises d'air limitées ont bien plus de chances, comme je l'ai déjà dit, de saisir les germes de l'air avec toute la variété qui leur est habituelle.

Aussi je suis toujours fort surpris quand M. Pouchet, dans ses habiles plaidoyers en faveur de la doctrine de l'hétérogénie, revient sur cette vague objection *des facultés génésiques des infusions étouffées par les conditions matérielles des expériences in vitro*. Ces facultés génésiques, pour me servir des expressions de M. Pouchet, je les vois plutôt exaltées que détruites. Si cette objection avait quelque chose de fondé, c'est aux expériences de Schwann, dont les résultats ont essentiellement un caractère négatif, et nullement aux miennes, qu'il faudrait l'adresser; car l'un des progrès de mes recherches est d'avoir institué des expériences qui ont, à la volonté de l'opérateur (comme on l'a vu au chapitre IV), des résultats positifs ou négatifs [1].

1. Quant à opérer en plein air *pour interpréter ensuite les résultats*, comme M. Pouchet m'a si souvent recommandé de le faire, je m'en garderai soigneusement. Il est si rare de deviner juste quand on étudie la nature! Et puis, est-ce que les idées préconçues ne sont pas toujours là pour placer un bandeau sur nos yeux?

Voici, par exemple, l'une des expériences en plein air de M. Pouchet. « On fit macérer [deux heures], dit-il, des tiges d'asperges dans de l'eau. Celle-ci ayant été filtrée, on en fit deux parts : l'une fut conservée sans autre préparation; l'autre fut portée à l'ébullition *pendant deux minutes*. Le lendemain, la macération simple était remplie d'une immense quantité de bacteriums et de vibrions. Au contraire, la macération bouillie n'en offrait pas un seul. » (Pouchet. *Moniteur scientifique*, III, 1861, p. 163.)

« Les vibrions n'apparaissent que plus tard dans une décoction, parce que [l'action de] la chaleur en retarde la fermentation... Qui ne sait cela? Est-il possible de présenter rien de plus simple et de plus saisissant que cette expérience? » (Pouchet. *Moniteur scientifique*, II, 1860, p. 1082.)

Mais, en vérité, qu'y a-t-il de plus facile à concevoir qu'une différence dans les époques d'apparition des vibrions de deux macérations pareilles, dont l'une a été bouillie, tandis que l'autre ne l'a pas été? Est-ce que la nature des liquides est la même? Est-ce que celle qui a été chauffée n'est pas profondément modifiée? Est-ce que dans celle-ci les germes des vibrions ne sont pas tués? S'ils ne le sont pas, comme j'ai montré que cela arrivait pour le lait et pour d'autres liqueurs, est-ce qu'il ne peut pas y avoir des modifications dans leur faculté de déve-

Mais sous ce rapport de la variété des productions je reconnais qu'il y a une différence très grande entre celles de nature végétale et les autres. Les premières sont très multiples, tandis que pour les infusoires cela se borne aux monades, aux bacteriums et aux vibrions. Sans vouloir préjuger ici la question de l'origine des gros infusoires, sur laquelle j'espère publier un travail spécial, on n'ignore pas que jamais une infusion ne donne de gros infusoires de prime saut, que jamais les paramécies, les kolpodes, les vorticelles,.... ne précèdent les bacteriums et les vibrions. Dès lors, que l'on se reporte aux analyses d'air que je donne dans ce Mémoire, alors que les plus petits des infusoires ont apparu dans les ballons, et on verra avec quelle rapidité ils altèrent l'air et le chargent d'acide carbonique.

Tant qu'il y a de l'humidité, la vie est sans fin, dans une infusion exposée au contact de l'air libre, parce que l'oxygène, l'un des aliments essentiels des mucédinées et des infusoires, ne leur fait jamais défaut. Mais dans une atmosphère limitée, la vie s'arrête forcément au bout de quelques jours. Les gros infusoires ne se montreront donc pas, puisqu'il est reconnu que ce n'est point par eux que la vie commence dans les infusions [1]. Leur apparition serait une difficulté nouvelle à résoudre.

Mais cela n'infirme en rien les conclusions auxquelles je suis conduit sur l'origine des mucorées, des mucédinées, des torulacées et des plus petits des infusoires, dans les infusions qui ont été portées préalablement à l'ébullition. Sur ce point, le seul dont je traite aujourd'hui, je juge que les résultats de mon travail sont inattaquables.

B. — *Expériences sur un air non agité.*

Grâce à l'obligeance de M. Le Verrier, j'ai pu faire quelques expériences sur l'air des caves de l'Observatoire. Dans cette partie des caves, situées dans la zone de température invariable, l'air parfaitement calme doit évidemment laisser tomber ses poussières à la surface du sol, dans l'intervalle des agitations qu'un observateur peut y

loppement, comme cela est si manifeste, par exemple au chap. VIII, pour les spores du *penicillium glaucum* chauffé à 120°, dont la germination est retardée de plusieurs jours ? Qui sait si le fait de la modification du liquide ne suffit pas seul à rendre compte d'un retard dans l'apparition des mêmes organismes, et je dirai plus, d'une différence dans la nature des organismes, puisque l'on sait que ceux-ci changent avec la nature des infusions ?

1. A tel point que M. Pouchet fait naître spontanément les gros infusoires et les mucédinées dans une pellicule dite *proligère*, formée par des amas de bacteriums ou de vibrions (*Voir*, page 352 de son *Traité de la génération spontanée*, le chapitre intitulé : *Formation de la pellicule proligère*.) J'ai cependant rencontré, à deux ou trois reprises, des infusoires qui m'ont paru être le *monas lens*, dans des liqueurs sucrées où il ne s'était formé ni bacteriums, ni vibrions.

provoquer par ses mouvements ou par les objets qu'il y transporte. Et en multipliant par conséquent les précautions, lorsque l'on y descend pour y faire des prises d'air, les ballons qui ultérieurement se montreront sans productions organisées devront être considérablement plus nombreux que dans le cas où ils auront été, par exemple, remplis d'air dans la cour de l'établissement. C'est en effet ce qui arrive, et le sens des résultats, par l'accord qu'il présente avec la nature ou la multiplicité plus ou moins grande des précautions dont on s'entoure, afin d'éviter l'introduction accidentelle des poussières étrangères, oblige d'admettre que si les ballons étaient ouverts et fermés dans les caves sans que l'opérateur fût tenu de s'y transporter, l'air de ces caves se montrerait constamment aussi inactif que de l'air porté au rouge. Ce n'est pas cependant qu'il ait par lui-même, et vu les conditions où il est placé, une inactivité propre. Tout au contraire, se trouvant saturé d'humidité et la plupart des organismes inférieurs n'ayant nul besoin de lumière pour vivre, cet air m'a toujours paru plus propre que celui de la surface du sol au développement de ces organismes.

Je ne rapporterai qu'une des séries d'expériences. Le 14 août 1860, j'ai ouvert et refermé dans les caves de l'Observatoire dix ballons contenant de l'eau de levûre de bière, et onze autres ballons de la même préparation dans la cour de l'établissement, à 50 centimètres du sol, par un vent léger. Tous ont été rapportés le même jour dans l'étuve de mon laboratoire, dont la température est de 25° à 30°. J'ai conservé jusqu'à ce jour tous ces ballons. Un seul de ceux ouverts dans les caves renferme une production végétale. Les onze ballons ouverts dans la cour ont tous fourni des infusoires ou des végétaux du genre de ceux que j'ai déjà décrits.

C. — *Expériences sur l'air à diverses hauteurs.*

Les expériences relatées dans les paragraphes précédents établissent suffisamment qu'il n'y a pas dans l'atmosphère continuité de la cause des générations dites spontanées, c'est-à-dire qu'il est toujours possible de prélever en un lieu déterminé un volume notable, mais limité, d'air ordinaire, *n'ayant subi aucune espèce de modification physique ou chimique*, et tout à fait impropre néanmoins à provoquer une altération quelconque dans une liqueur éminemment putrescible. De là ce principe que la condition première de l'apparition des êtres vivants dans les infusions ou dans les liquides fermentescibles n'existe pas dans l'air considéré comme fluide, mais qu'elle s'y trouve çà et là, par places, offrant des solutions de continuité nombreuses et variées, comme

on doit le prévoir dans l'hypothèse d'une dissémination des germes.

Il m'a paru très intéressant de suivre les idées que suggèrent les résultats qui précèdent, en soumettant l'air pris à des hauteurs diverses au mode d'expérimentation que j'ai fait connaître. J'aurais pu m'élever en aérostat; mais pour des études d'essai, préliminaires en quelque sorte, j'ai pensé qu'il serait plus commode et peut-être plus utile d'opérer comparativement dans la plaine et sur les montagnes.

J'ai eu l'honneur de déposer sur le bureau de l'Académie, dans sa séance du 5 novembre 1860, soixante-treize ballons, chacun de $\frac{1}{4}$ de litre de capacité, préparés comme je l'ai dit au commencement de ce chapitre, c'est-à-dire qu'ils étaient primitivement vides d'air et remplis au tiers d'eau de levûre de bière, filtrée à limpidité parfaite.

Vingt de ces ballons ont reçu de l'air dans la campagne, assez loin de toute habitation, au pied des hauteurs qui forment le premier plateau du Jura; vingt autres ont été ouverts [1] sur l'une des montagnes du Jura, à 850 mètres au-dessus du niveau de la mer; enfin une autre série de vingt de ces mêmes ballons a été transportée au Montanvert, près de la Mer de Glace, à 2000 mètres d'élévation [2].

Voici les résultats qu'ils ont offerts :

Des vingt ballons ouverts dans la campagne, huit renferment des productions organisées; des vingt ballons ouverts sur le Jura, cinq seulement en contiennent; et enfin des vingt ballons remplis au Montanvert, par un vent assez fort, soufflant des gorges les plus profondes du glacier des Bois, un seul est altéré. Il faudrait sans doute multiplier beaucoup ces expériences. Mais telles qu'elles sont, elles tendent à prouver déjà qu'à mesure que l'on s'élève, le nombre des germes en suspension dans l'air diminue notablement. Elles montrent surtout la pureté, au point de vue qui nous occupe, de l'air des hautes cimes couvertes de glace, puisqu'un seul des vases remplis au Montanvert a donné naissance à une mucédinée.

La prise d'air exige quelques précautions que j'avais reconnues indispensables depuis longtemps pour éloigner, autant qu'il est possible, l'intervention des poussières que l'opérateur porte avec lui, et de celles qui sont répandues à la surface des ballons ou des outils dont il faut se servir. Je chauffe d'abord assez fortement le col du ballon et sa pointe effilée dans la flamme d'une lampe à alcool, puis je fais un trait sur le verre à l'aide d'une lame d'acier; alors, élevant le ballon au-dessus de ma tête, dans une direction opposée au vent, je brise la pointe avec une pince de fer, dont les longues branches

1. Le texte original porte une erreur typographique qui a été corrigée.
2. *Voir*, p. 263 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

viennent de passer dans la flamme, afin de brûler les poussières qui pourraient être à leur surface, et qui ne manqueraient pas d'être chassées en partie dans le ballon par la rentrée brusque de l'air.

J'avais été fort préoccupé, durant mon voyage, de la crainte que l'agitation du liquide dans les vases pendant le transport n'ait quelque influence fâcheuse sur les premiers développements des infusoires ou des mucors. Les résultats suivants éloignent ces scrupules. Ils vont nous permettre, en outre, de reconnaître toute la différence qui existe entre l'air de la plaine ou des hauteurs et celui des lieux habités.

Mes premières expériences sur le glacier des Bois furent interrompues par une circonstance que je n'avais nullement prévue. J'avais emporté, pour refermer la pointe des ballons après la prise de l'air, une lampe éolipyle alimentée par de l'alcool ; or, la blancheur de la glace frappée par le soleil était si grande, qu'il me fut impossible de distinguer le jet de vapeur d'alcool enflammé, et comme ce jet de flamme était d'ailleurs un peu agité par le vent, il ne restait jamais sur le verre brisé assez de temps pour fondre la pointe et refermer hermétiquement le ballon. Tous les moyens que j'aurais pu avoir alors à ma disposition pour rendre la flamme visible, et par suite dirigeable, auraient inévitablement donné lieu à des causes d'erreur, en répandant dans l'air des poussières étrangères.

Je fus donc obligé de rapporter à la petite auberge du Montanvert, non refermés, les ballons que j'avais ouverts sur le glacier, et d'y passer la nuit, afin d'opérer dans de meilleures conditions le lendemain matin avec d'autres ballons. Ce sont les résultats de cette deuxième série d'expériences que j'ai indiqués tout à l'heure.

Quant aux treize ballons ouverts la veille sur le glacier, je ne les refermai que le lendemain matin, après qu'ils eurent été exposés toute la nuit aux poussières de la chambre dans laquelle j'avais couché. Or, de ces treize ballons, il y en a dix qui renferment des infusoires ou des moisissures.

Puisque le nombre des ballons altérés dans ces premiers essais est plus grand que dans ceux qui ont suivi, l'agitation du liquide pendant le voyage n'a pas l'influence que je redoutais sur le développement des germes. En outre, la proportion des ballons qui, dans ces premières expériences, offrent des productions organisées nous donne la preuve indubitable que les lieux habités renferment un nombre relativement considérable de germes féconds, à cause des poussières qui sont à la surface de tous les objets. Dans cette petite auberge du Montanvert, par exemple, il y a certainement des poussières et, par suite, des germes venant de tous les pays du monde, apportés par les effets des voyageurs.

D. — *Expériences sur le mercure.*

J'ai déjà rappelé au chapitre VII et dans la partie historique de ce Mémoire comment l'expérience du Dr Schwann avait écarté l'hypothèse de Gay-Lussac sur le rôle de l'air dans l'explication des procédés de conserves d'Appert. Mais d'où vient que dans l'expérience sur le moût de raisin du célèbre chimiste, expérience si souvent citée, la levûre de bière prenne naissance à la suite de l'introduction d'une très petite portion d'air, et que, si l'on répète cette même expérience sur des infusions diverses, on voie celles-ci s'altérer sous l'influence de quantités d'air minimes, bien plus, par l'introduction d'air calciné ou d'air artificiel? car les expériences de M. Pouchet, effectuées sur la cuve à mercure, sont exactes, tandis que celles de Schwann y sont presque constamment erronées. C'est tout simplement que le mercure de nos cuves, qui ne subit que de loin en loin des lavages aux acides énergiques, est habituellement rempli de germes apportés par les poussières qui sont en suspension dans l'air, lesquelles y tombent toutes les fois que la cuve est exposée à l'air, et qui pénètrent dans l'intérieur du mercure par les manipulations qu'on y pratique, sans que leur légèreté spécifique puisse les ramener toutes à la surface à cause de leur volume microscopique (1).

Voici une expérience bien simple et bien démonstrative qui réussit presque constamment.

Que l'on prenne un de ces ballons préparés comme je l'ai dit au commencement du chapitre VII, vides d'air et remplis en partie d'un liquide putrescible, soumis à l'ébullition préalablement, qu'on plonge sa pointe fermée au fond d'une cuve à mercure quelconque, et que par un choc on brise sa pointe au fond de la cuve, il naîtra dans le liquide de ce ballon des productions organisées, peut-être neuf fois sur dix, après qu'on y aura fait arriver soit de l'air calciné, soit de l'air artificiel.

Il n'y a évidemment que le mercure qui ait pu fournir les germes, à moins qu'il n'y ait génération spontanée, mais cette hypothèse est écartée par ce fait que, si l'expérience est répétée sans emploi de la cuve à mercure, comme au chapitre III, en suivant la méthode de la figure 10, il n'y a pas de productions.

Les expériences suivantes sont encore plus directes et plus probantes.

1. Il est clair que dans l'expérience particulière de Gay-Lussac, où les éprouvettes dont il se servait n'étaient pas préalablement chauffées, les germes ont pu être apportés par les poussières de la surface du verre des éprouvettes, ou par les grains de raisin qui, comme tous les corps, sont couverts de poussière et, par suite, de germes.

Je prends du mercure, puisé sans précautions particulières, dans la cuve d'un laboratoire quelconque, et, à l'aide de la méthode que j'ai décrite antérieurement, chapitre IV, au sein d'une atmosphère d'air calciné, je dépose un seul globule de ce mercure, de la grosseur d'un pois, dans une liqueur altérable. Deux jours après, dans toutes les expériences que j'ai faites[1] il y a eu des productions variées; et en répétant au même moment, par la même méthode, sans rien changer à la manipulation, les mêmes essais sur du mercure de même provenance, mais qui avait été chauffé, il n'y a pas eu la moindre production.

Il ne faut pas exagérer les conséquences que l'on peut déduire de ces expériences. Voyons bien, en effet, ce qui se passe. On puise dans un verre à pied du mercure d'une cuve; on prélève toujours ainsi, à moins de précautions que je ne suppose pas avoir été prises, une partie du mercure qui est à la surface de la cuve où il y a des poussières; ensuite on verse une goutte de ce mercure dans un petit tube. L'expérience montre que cette goutte en tombant emporte à sa surface une portion notable des poussières de la surface même du mercure du verre. La goutte prélevée renferme donc toujours une partie des poussières de la surface de la cuve. Je serai mieux compris encore en remarquant que, si l'on faisait écouler d'un verre à pied une goutte du mercure que l'on aurait couvert à sa surface d'une couche d'une poussière quelconque, toute la goutte en tombant serait enveloppée par une couche de cette poussière, par un effet de capillarité. Mais rien ne serait plus simple que de refaire l'expérience sur un globule de mercure puisé avec des précautions spéciales au sein de la masse du liquide. Je ne doute pas que l'expérience ne réussisse encore le plus ordinairement, même dans ces conditions particulières.

CHAPITRE VIII

De l'action comparée de la température sur la fécondité des spores des mucédinées et des germes qui existent en suspension dans l'atmosphère.

Les expériences que je vais faire connaître ajoutent aux conclusions définitives de ce Mémoire une confirmation nouvelle.

Ce que l'on sait de la résistance à la mort des anguilles du blé

1. Au nombre de quatre, deux avec le mercure de mon laboratoire, une avec le mercure du laboratoire de chimie de l'École normale, une autre avec le mercure du laboratoire de physique du même établissement.

niellé, des rotifères et aussi des graines des plantes supérieures après des dessiccations préalables, nous dit assez que les spores des mucédinées doivent pouvoir conserver leur fécondité à des températures assez élevées lorsqu'elles sont sèches (1).

Supposons pour un instant que l'on détermine les limites de température que les spores des mucédinées vulgaires peuvent supporter sans se détruire, et les limites au delà desquelles toute vitalité cesse dans ces petites graines. Si les corpuscules organisés qui existent constamment en suspension dans l'air et parmi lesquels il en est toujours en grand nombre qui ont une parfaite ressemblance avec des spores de mucédinées, si, dis-je, ces corpuscules sont bien réellement des spores, l'expérience devra nous conduire à ce résultat curieux, que les poussières de l'air semées dans des conserves d'Appert, suivant la méthode représentée fig. 12, seront encore fécondes après qu'elles auront subi la plus haute température que peuvent supporter les spores des mucédinées vulgaires, et qu'elles seront sans effet sur ces mêmes conserves, si elles ont été préalablement soumises à la température qui tue ces spores.

Voyons d'abord ce que l'on sait sur ce sujet.

Duhamel rapporte dans un de ses ouvrages qu'il a pu faire germer du froment qui avait supporté une température de 110° centigrades. Cette observation du savant agronome devint l'origine de quelques recherches de Spallanzani sur le degré de chaleur auquel on peut soumettre les graines, sans leur faire perdre la faculté de germer. Parmi les plantes supérieures, cinq espèces de graines furent étudiées par lui : c'est le pois chiche, la lentille, l'épeautre, la graine de lin et celle du trèfle. Spallanzani s'occupa, en outre, de l'influence de la température sur les spores des mucédinées. Pour ce qui est des graines des plantes supérieures, les résultats de Spallanzani, encore bien que très curieux, n'ont rien qui doive nous surprendre dans l'état présent de nos connaissances. La graine de trèfle, moins impressionnable que toutes les autres, a pu supporter une température voisine de 100° centigrades. Mais pour les graines des moisissures, Spallanzani fut conduit à des conséquences singulières. Il admet, en effet, que non seulement les spores des mucédinées peuvent supporter la température de 100° quand elles sont plongées dans l'eau, mais qu'elles peuvent même

1. M. Payen [*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLVIII, 1859, p. 30] a reconnu depuis longtemps que les sporules de l'*oïdium aurantiacum* conservent leur faculté de développement après avoir été portées à 120°. Je pense qu'il s'agit d'une épreuve dans l'air ou dans le vide sec. Dans le cas contraire, je serais porté à croire que la température n'a pu être déterminée exactement, et qu'elle est trop élevée.

résister à la chaleur d'un brasier ardent lorsqu'elles sont sèches. D'ailleurs, dans ce dernier cas, il n'assigne pas la température d'une manière précise (1).

On aurait peine à comprendre que ces résultats de Spallanzani sur les graines des mucédinées n'aient pas été soumis à de nouvelles épreuves si les expériences n'offraient ici des difficultés particulières, consistant surtout à trouver une méthode d'expérimentation rigoureuse. Rien de plus simple pour les plantes supérieures d'essayer si leurs graines sont encore capables de germer lorsqu'elles ont été chauffées à une température déterminée : il ne pousse du blé que là où l'on en a semé; mais pour les mucédinées, elles se développent partout où elles rencontrent des conditions favorables. Il est donc indispensable de recourir, en ce qui concerne les mucédinées vulgaires, à une disposition qui permette d'affirmer sûrement que la petite plante a été reproduite par les spores que l'on a semées, et non additionnellement par les spores qui sont en suspension dans l'air, ou déposées à la surface des objets mis en expérience.

Voici la méthode que j'ai suivie et qui me semble irréprochable : Je passe un peu d'amiante dans les petites têtes de la moisissure que je veux étudier; puis je place cette amiante couverte de spores dans un très petit tube de verre que j'introduis dans un tube en U de plus gros diamètre, où le petit tube peut se mouvoir librement, fig. 28 (2). L'une des extrémités du tube en U se relie par un caoutchouc à un tube

1. Le passage suivant des œuvres de Spallanzani est extrait d'un chapitre [intitulé : Sur l'origine des petites plantes des moisissures], tome II de ses *Opuscules*, dans lequel il a principalement pour but de prouver que Michelli avait eu raison de regarder la poussière qui tombe des moisissures, lorsqu'elles sont mûres, comme étant bien la semence de ces plantes.

« Les petits grains qui sortent des têtes des moisissures mûres, et qui sont les vraies semences de ces végétaux, ont la singularité de résister à un degré de chaleur qu'aucune autre graine ne peut supporter sans perdre la faculté de germer. Après avoir fait bouillir ces petits grains dans l'eau, j'ai versé l'eau qui en avait pris une couleur noire sur les corps capables de moisir, et suivant les résultats habituels de ces sortes d'expériences, la moisissure a poussé plus épaisse que sur ces mêmes corps qui n'en avaient pas été mouillés. J'ai fait la même chose avec des poussières exposées à un feu beaucoup plus fort, tel que celui d'un brasier ardent, et j'ai trouvé que cette chaleur n'ôte pas à ces graines la faculté de se reproduire. » [p. 398-399.]

Plus loin, Spallanzani s'exprime ainsi :

« L'hypothèse qui établit que cette poussière est invisiblement répandue partout, et qu'elle donne naissance à la multitude des moisissures naturelles, est une des hypothèses les plus raisonnables de la physique. » [p. 399.]

2. Lorsque, dans un ballon préparé comme je l'ai dit au chapitre VII [p. 267], il ne se développe qu'une seule moisissure, ce qui est fréquent, il est évident que les spores en sont parfaitement *pures*. C'est dans les sporanges de pareilles moisissures que je passais le petit pinceau d'amiante, après avoir détaché la partie supérieure du ballon. Il n'y avait chance d'introduire des germes étrangers que pendant le temps très court où je prélevais les spores de la moisissure pour les transporter dans le tube en U. On chauffait d'ailleurs fortement l'amiante avant de la couvrir de spores, et aussi le tube en U. Dès qu'il était refroidi, on y introduisait le petit tube et ses spores.

de métal à robinets, en forme de T. Un des robinets communique à la

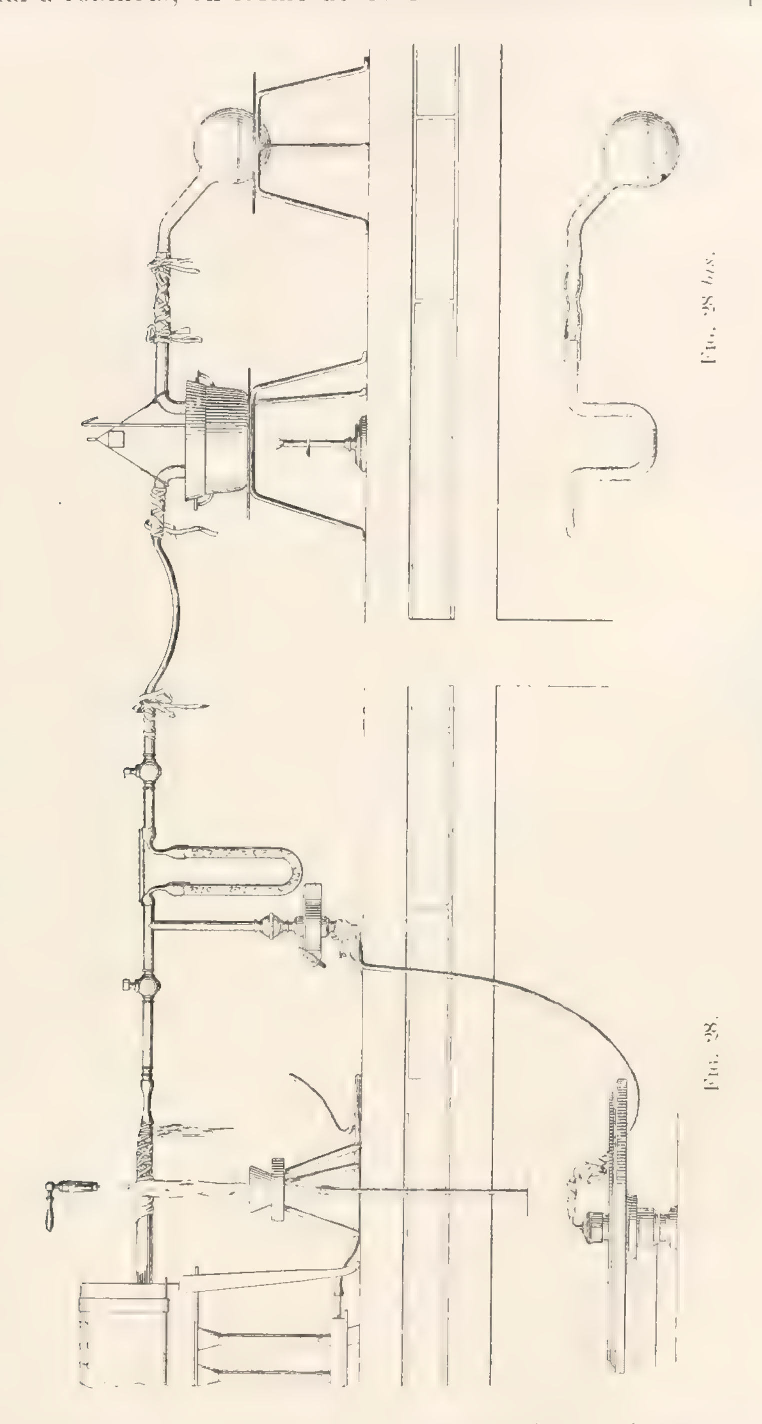


Fig. 28 *bis*.

Fig. 28.

machine pneumatique, un autre à un tube de platine chauffé au rouge. L'autre extrémité porte un caoutchouc qui reçoit également le ballon

où l'on doit semer les spores, ballon fermé à la lampe, rempli d'air calciné et d'un liquide préalablement porté à l'ébullition, devant servir d'aliment à la jeune plante. Enfin, le tube en U plonge dans un bain d'huile, d'eau ordinaire ou d'eau saturée de divers sels, selon que l'on veut porter les spores à telle ou telle température. Entre le tube en U et le tube de platine, il y a un tube desséchant à ponce sulfurique. Lorsque tout l'appareil qui précède le tube de platine a été rempli d'air calciné et que les spores ont été maintenues à la température voulue un temps suffisant que l'on peut faire varier, on brise la pointe du ballon par un coup de marteau, sans dénouer les cordonnets du caoutchouc qui réunit le ballon au tube en U; puis, inclinant convenablement ce dernier tube éloigné de son bain, on fait glisser dans le ballon l'amiante et ses spores. Enfin, on referme le ballon à la lampe



Fig. 29.

par un trait de flamme sur l'un des étranglements ménagés sur son col. On le porte alors à l'étuve à une température de 20° à 30°, qui est très favorable au développement rapide des mucédinées.

L'expérience sur les poussières de l'air se fait de la même manière avec de l'amiante qui a été exposée à un courant d'air ordinaire, suivant les indications de la méthode du chapitre II.

Je vais entrer maintenant dans le détail des résultats de quelques expériences particulières.

Le 1er juin 1860, je fais passer dans un ballon renfermant, depuis le 19 mars, de l'eau de levûre et de l'air calciné, sans avoir éprouvé la moindre altération, une portion de bourre de coton chargée des poussières de l'air ordinaire après qu'elle eut été maintenue une heure à 100° (bain d'eau bouillante).

Dans la nuit du 4 au 5 juin, une espèce de dépôt pulverulent commence à se montrer sur les parois du ballon, et envahit rapidement les jours suivants la surface du liquide. C'est une mucorée incolore, en pellicule un peu chagrinée, en petits amas confusément circulaires comme s'ils étaient soulevés par des bulles de gaz, ce qui n'est qu'une illusion. Dès le 9 ou le 10 juin, tout développement cesse et la pellicule tombe en lambeaux au fond du vase. A la fin de juin, j'ai ouvert le ballon, pour étudier cette mucorée au microscope. Elle est

formée de granulations comme le sont en général toutes les mucorées, mais ici les granulations sont relativement volumineuses. Leur diamètre est de $0^{mm},002$. Ces granulations étaient isolées ou en paquets, brillantes à leur centre, à contours nettement limités. La figure 29 les représente associées à quelques vibrions très ténus, à peine visibles, et qui n'avaient plus de mouvements lorsque le ballon a été ouvert. Ils étaient en fort petit nombre.

Cette expérience montre que les germes desséchés de ces deux productions résistent à la température de 100° pendant une heure.

Le 2 juin 1860, je fais passer dans du lait conservé depuis le 10 avril, en présence de l'air calciné, sans altération aucune, une petite bourre



Fig. 30.

d'amiante chargée des poussières de l'air après l'avoir exposée un quart d'heure à 100° (bain d'eau bouillante).

Le 4 juin, le lait n'est pas caillé, mais on voit à sa surface une couche de sérum presque translucide, qui indique une altération.

Le 5 et le 6 juin, il est visible que le lait s'altère. Il y a au fond du ballon un dépôt jaunâtre, caséeux; aucune apparence de dégagement de gaz. Je n'avais pas encore rencontré des caractères d'altération du lait de l'ordre de ceux-ci exactement.

Le 7 juin, j'ouvre le ballon et j'étudie le liquide au microscope. Il se trouve rempli d'une multitude d'infusoires de deux natures bien distinctes. Les uns sont des vibrions filiformes très agiles, qui courent rapidement en faisant trembler vivement la seconde moitié de leur corps. Ils ont de $0^{mm},006$ à $0^{mm},009$ de longueur et $0^{mm},0007$ de largeur. Les autres sont courts, beaucoup plus larges, un peu étranglés, souvent réunis par chaînes de deux et trois articles. La longueur des articles est de $0^{mm},003$ à $0^{mm},004$ et le diamètre de $0^{mm},002$ à $0^{mm},003$. La figure 30 représente ces deux sortes d'infusoires entre les globules de beurre.

Il ne s'est pas dégagé de gaz lorsque j'ai ouvert le ballon sur la cuve à mercure.

Le 6 juillet, je fais passer dans un ballon d'eau de levûre sucrée, mêlée de craie, conservée sans altération depuis le 11 avril en présence de l'air calciné, une bourre d'amiante avec poussières, chauffée pendant une demi-heure à 100° (bain d'eau bouillante).

Le 8 juillet, trouble sensible, avec pellicule mince sur toutes les parois. Le 10 juillet, trouble laiteux, avec lambeaux chiffonnés dans la masse du liquide et au fond. Apparence de dégagement de gaz.

Le 10 juillet, j'ouvre ce ballon, sortie brusque et violente de gaz. Il est évident qu'il y a eu fermentation. Au microscope, il y a deux espèces de vibrions, différant surtout par le diamètre de leurs articles. Les uns ont 0mm,0006 à 0mm,0008 de diamètre; les autres ont 0mm,0015 à 0mm,002 de diamètre et jusqu'à 0mm,01 et plus de longueur[1].

Le 9 novembre 1860, je fais passer une bourre d'amiante, chargée des poussières de l'air, dans un ballon renfermant de l'eau de levûre,



Fig. 31.

et une autre bourre pareille dans un deuxième ballon renfermant de l'urine. Ces ballons étaient conservés depuis le 25 juin. Avant d'introduire les bourres, on les avait maintenues pendant une demi-heure à 121° (bain d'huile).

Le 11 novembre, le ballon d'eau de levûre a commencé à montrer une touffe de mycelium en tubes très lâches, qui a poussé avec une rapidité extraordinaire. Il a atteint en quatre jours le niveau du liquide, et a poussé partout de longs tubes cotonneux d'une grande blancheur qui se sont rapidement étendus sur les parois du ballon. Les spores et les tubes qui les portaient sont représentés fig. 31.

Le ballon d'urine n'a commencé que le 16 novembre à montrer une

1. Je ne doute pas que la fermentation du liquide de ce ballon n'ait été provoquée par ces derniers infusoires, préservés du contact de l'air par ceux de la première espèce qui n'étaient que des vibrions ordinaires, ayant besoin d'air pour vivre. *Voir* ma communication du 25 février 1861 à l'Académie des sciences sur la découverte de l'animalcule infusoire qui produit la fermentation butyrique (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LII, 1861, p. 344-347, et p. 136-138 du présent volume.)

petite touffe de moisissure en tubes très serrés, sous forme de petite boule soyeuse. Cette mucédinée s'est développée avec une si grande lenteur que le 22 novembre elle n'avait pas encore la grosseur d'un pois.

Ce même jour, 22 novembre, a apparu un autre mycelium en tubes lâches qui a étouffé le premier en peu de jours.

Pas du tout d'infusoires, ni dans un cas, ni dans l'autre.

Le 12 août 1860, même expérience, avec eau de levûre et poussières de l'air qui avaient été préalablement chauffées pendant une demi-heure au bain d'huile à 129°. Aujourd'hui (avril 1861), pas encore la moindre apparence de productions organisées.

Passons maintenant en revue quelques expériences sur les spores des mucédinées vulgaires.

Le 21 juillet 1860, je fais passer dans un ballon, renfermant de l'eau de levûre et de l'air calciné, sans altération depuis le 26 juin, une petite bourre d'amiante chargée de spores de *penicillium*, préalablement chauffées pendant une demi-heure au bain d'huile de 119° à 121°.

Le 22, le 23, le 24 juillet, aucune apparence de développement. Le 25 juillet, une multitude de très petites touffes de mycelium couvrent les parois du ballon. Mais, chose assez singulière, il n'y a que les spores du fond qui se soient développées. Celles qui, au moment de l'introduction de la bourre d'amiante, étaient venues à la surface former des amas, des espèces de taches, n'ont pas germé du tout; elles n'ont pas poussé de tubes germinatifs.

Le 26 juillet, développement sensible, bien qu'un peu faible et comme pénible, des touffes du fond. Les spores de la surface du liquide n'ont pas encore germé.

Le 28 juillet, plusieurs îlots sont développés à la surface, mais ils proviennent de touffes du fond et non des spores de la surface. Ces îlots commencent à fructifier et à verdir à leur centre. On voit toujours çà et là, à la surface, des taches de spores qui n'ont pas germé.

Le 3 août, toute la surface est couverte par un beau *penicillium* vert-bleuâtre, vigoureux. Rien n'indique qu'il soit malade ; cependant il faut remarquer que : 1° les spores, semées le 21 juillet, n'ont commencé à germer que dans la nuit du 24 au 25 juillet, tandis que, si on ne les avait pas chauffées ou même si on les avait chauffées à 100°, elles auraient commencé à montrer des touffes de tubes germinatifs visibles à l'œil nu dès le lendemain; je l'ai constaté souvent par des épreuves directes; 2° beaucoup de spores avaient été évidemment privées de vie, et, plus légères, dirait-on, que les autres, elles étaient venues à la surface où elles n'ont pas germé.

Voici une expérience qui prouvera qu'en élevant la température des spores à 108°,4, au lieu de 120°, la germination se montre déjà après quarante-huit heures.

Le 23 juillet, j'ai semé, dans un des ballons d'eau de levûre conservé depuis le 26 juin sans altération, une bourre d'amiante chargée de spores de *penicillium*, chauffées préalablement à sec, comme dans toutes ces expériences, pendant une demi-heure à 108°,4 (bain d'eau saturée de sel et bouillante).

L'ensemencement a eu lieu à midi, le 23 juillet.

Dès le 25, à cinq heures du soir, on voyait une infinité de touffes de mycelium au fond du liquide.

Il n'est donc pas douteux que, par l'action d'une température élevée, en dehors de toute humidité, la fécondité des spores du *penicillium glaucum* se conserve jusqu'à 120° et même un peu plus; et qu'elles reproduisent une plante toute pareille à la plante mère, et dont les spores sont fécondes (je l'ai constaté par des épreuves directes). Mais il n'est pas moins vrai que la vitalité du germe est un peu atteinte, et que les spores en éprouvent un retard sensible dans leur faculté germinative.

Le 12 août 1860, je répète les expériences précédentes sur deux ballons d'eau de levûre conservés depuis longtemps, et avec des spores de *penicillium glaucum* et des spores d'*ascophora elegans*, chauffées pendant une demi-heure de 127° à 132° (bain d'huile).

Il n'y a eu aucun développement quelconque des spores ni dans l'un ni dans l'autre ballon.

En résumé, je crois pouvoir conclure de mes expériences que les spores des mucédinées vulgaires, chauffées dans le vide ou dans l'air sec, restent fécondes après avoir été portées à une température de 120°. On trouverait probablement qu'on peut même aller un peu au delà, peut-être à 125°. Au contraire, il suffit d'une exposition d'assez courte durée à 130° pour enlever leur fécondité aux spores de ces mêmes mucédinées, qui paraissent être les plus vivaces et les moins impressionnables[1]. D'autre part, nous trouvons que les limites sont les mêmes

1. Je dois cependant remarquer qu'au nombre des mucédinées qui ont pris naissance dans les expériences, en petit nombre, il est vrai, où j'avais semé les poussières de l'air chauffées à 120°, le *penicillium glaucum* ne s'est pas montré. Ç'a été, entre autres, cette mucédinée d'un développement si rapide dont j'ai parlé [p. 284], et dont les sporanges formaient des amas cotonneux à long tubes, d'une grande blancheur, à la surface du liquide. Il eût été intéressant de voir si les spores de cette moisissure ne résistaient pas un peu mieux que le *penicillium* à une température élevée.

Dans le cours de mes expériences, j'ai eu l'occasion de constater des différences considérables dans la rapidité du développement des moisissures. J'ai vu des myceliums mettre plusieurs mois à atteindre la grosseur d'une noisette. J'en ai vu d'autres remplir le liquide en

pour la fécondité des poussières de l'air, c'est-à-dire qu'elles donnent des mucédinées même après avoir été portées à 120°, et qu'elles n'en donnent plus si on leur fait subir la température de 130°.

La correspondance de ces résultats est une preuve nouvelle de l'existence des spores des mucédinées parmi les corpuscules organisés que le microscope permet de reconnaître si facilement dans les poussières qui sont en suspension dans l'air ordinaire.

CHAPITRE IX

Sur le mode de nutrition des ferments proprement dits, des mucédinées et des vibrioniens.

Il est essentiel de remarquer que jusqu'à ce jour toutes les expériences de générations spontanées ont porté sur des infusions de matières végétales ou animales, en un mot sur des liquides renfermant des substances qui avaient appartenu antérieurement à l'organisme. Quelles que soient les conditions préalables de température et d'ébullition qu'on leur fasse subir, ces matières ont une constitution et des propriétés acquises sous l'influence de la vie.

Ce fait a servi de thème à toutes les théories sur la génération spontanée. Or, je vais démontrer dans ce chapitre que l'apparition des organismes inférieurs ne présuppose pas nécessairement la présence de matières organiques plastiques, de ces matières albuminoïdes que le chimiste n'a jamais pu produire, et qui dans leur formation exigent le concours des forces vitales.

Les nouvelles expériences que je vais faire connaître montreront le peu de fondement de toutes les théories sur la formation spontanée des organismes inférieurs. Passons d'abord en revue ces théories où l'imagination a tant de part, où les vrais principes de la méthode expérimentale en ont si peu.

Needham admettait l'existence dans la matière organique d'une force particulière qu'il appelait *force végétative*, et qui survivait à la mort des végétaux et des animaux. Spécifiquement déterminée dans un individu, elle lui conservait sa forme et ses propriétés pendant sa vie. Mais à sa mort elle devenait libre, et ses manifestations dépendaient des conditions particulières où se trouvaient placées les parties

quelques jours. Il peut y avoir à cela des causes diverses, notamment la nature du liquide. Il se pourrait qu'en la faisant varier, les rôles changeassent. J'ai été frappé bien souvent de la multitude d'études diverses que suggère à l'esprit le mode de vie de ces petits êtres. Celle-ci en est une entre mille autres, autant et plus intéressantes.

disjointes du corps de l'individu. Et c'est ainsi que cette force, persistant dans la matière organique des infusions, organisait de nouveau cette matière suivant des modes qui ne dépendaient plus que des conditions propres à l'infusion (1).

Le système des molécules organiques de Buffon a beaucoup de rapport avec les idées de Needham. Je reproduirai textuellement les vues du grand naturaliste sur la génération spontanée (2).

« Mes recherches et mes expériences, dit Buffon, sur les molécules organiques démontrent qu'il n'y a point de germes préexistants, et en même temps elles prouvent que la génération des animaux et des végétaux n'est pas univoque ; qu'il y a peut-être autant d'êtres, soit vivants soit végétaux, qui se reproduisent par l'assemblage fortuit des molécules organiques, qu'il y a d'animaux ou végétaux qui peuvent se reproduire par une succession constante de générations...

« Les molécules organiques, toujours actives, toujours subsistantes, appartiennent également aux végétaux comme aux animaux ; elles pénètrent la matière brute, la travaillent, la remuent dans toutes ses dimensions, et la font servir de base au tissu de l'organisation, de laquelle ces molécules vivantes sont les seuls principes et les seuls instruments ; elles ne sont soumises qu'à une seule puissance qui, quoique passive, dirige leur mouvement et fixe leur position. Cette puissance est le moule intérieur du corps organisé ; les molécules vivantes que l'animal ou le végétal tire des aliments ou de la sève s'assimilent à toutes les parties du moule intérieur de leur corps, elles le pénètrent dans toutes ses dimensions, elles y portent la végétation et la vie, elles rendent ce moule vivant et croissant dans toutes ses parties ; la forme intérieure du moule détermine seulement leur mouvement et leur position pour la nutrition et le développement dans tous les êtres organisés.

« Et lorsque la mort fait cesser le jeu de l'organisation, c'est-à-dire la puissance de ce moule, la décomposition du corps suit, et les molécules organiques qui toutes survivent, se retrouvant en liberté dans la dissolution et la putréfaction des corps, passent dans d'autres corps aussitôt qu'elles sont pompées par la puissance de quelque autre moule, en sorte qu'elles peuvent passer de l'animal au végétal et du végétal à l'animal, sans altération et avec la propriété permanente et constante de leur porter la nutrition et la vie ; seulement il arrive une

1. *Voir* Spallanzani. Exposition des nouvelles idées de M. de Needham sur le système de la génération. [*In* : Opuscules de physique, animale et végétale.] Tome I, chap. 1er.

2. Buffon. Histoire naturelle de l'homme. Supplément, tome IV, *Paris*, 1777, in-4°. [Addition à l'article des Variétés dans la génération et aux articles où il est question de la génération spontanée, p. 335, et p. 338-341.

infinité de générations spontanées dans cet intermède, où la puissance du moule est sans action, c'est-à-dire dans cet intervalle de temps pendant lequel les molécules organiques se trouvent en liberté dans la matière des corps morts et décomposés, dès qu'elles ne sont point absorbées par le moule intérieur des êtres organisés qui composent les espèces ordinaires de la nature vivante ou végétante ; ces molécules organiques, toujours actives, travaillent à remuer la matière putréfiée, elles s'en approprient quelques particules brutes et forment, par leur réunion, une multitude de petits corps organisés, dont les uns, comme les vers de terre, les champignons, etc., paraissent être des animaux ou des végétaux assez grands, mais dont les autres, en nombre presque infini, ne se voient qu'au microscope. Tous ces corps n'existent que par une génération spontanée, et ils remplissent l'intervalle que la nature a mis entre la simple molécule organique vivante et l'animal ou le végétal ; aussi trouve-t-on tous les degrés, toutes les nuances imaginables dans cette suite, dans cette chaîne d'êtres qui descend de l'animal le mieux organisé à la molécule simplement organique ; prise seule, cette molécule est fort éloignée de la nature de l'animal. Prises plusieurs ensemble, ces molécules vivantes en seraient encore tout aussi loin, si elles ne s'appropriaient pas des particules brutes, et si elles ne les disposaient pas dans une certaine forme, approchant de celle du moule intérieur des animaux ou des végétaux. Et comme cette disposition de forme doit varier à l'infini, tant pour le nombre que par la différente action des molécules vivantes contre la matière brute, il doit en résulter, et il en résulte en effet, des êtres de tous degrés d'animalité. Et cette génération spontanée, à laquelle tous ces êtres doivent également leur existence, s'exerce et se manifeste toutes les fois que les êtres organisés se décomposent ; elle s'exerce constamment et universellement après la mort et quelquefois aussi pendant leur vie, lorsqu'il y a quelques défauts dans l'organisation du corps qui empêchent le moule intérieur d'absorber et d'assimiler toutes les molécules organiques contenues dans les aliments. Ces molécules organiques surabondantes, qui ne peuvent pénétrer le moule intérieur de l'animal pour sa nutrition, cherchent à se réunir avec quelques particules de la matière brute des aliments et forment, comme dans la putréfaction, des corps organisés ; c'est là l'origine des ténias, des ascarides, des douves..... »

Un botaniste, M. Turpin [1], a reproduit de nos jours un système

1. Turpin. Mémoire sur la cause et les effets de la fermentation alcoolique et acéteuse. *Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut de France*, XVII, 1840, p. 93-153. (*Note de l'Édition.*)

qui avait beaucoup d'analogie avec celui des molécules organiques de Buffon.

J'arrive maintenant au système de M. Pouchet [1].

« On peut considérer, dit-il, comme une loi fondamentale que des phénomènes de fermentation ou de dédoublement catalytique précèdent ou accompagnent toute génération spontanée.....

« Les organismes ne se produisent qu'à même la nature expirante, et au moment où les éléments des êtres sur lesquels ils s'engendrent entrent dans de nouvelles combinaisons chimiques, et éprouvent tous les phénomènes de la fermentation ou de la putréfaction.

« Il résulte de là qu'il ne se manifeste de générations primaires qu'après que les corps dont elles dérivent commencent à subir les premiers phénomènes de décomposition ; comme si, pour s'organiser, les êtres nouveaux attendaient la désagrégation des autres, afin de s'emparer des molécules de la substance expirante, à mesure qu'elles se trouvent mises en liberté. Il est évident que l'organisme ne puise ses éléments matériels qu'à même les cadavres des anciennes générations....

« Ainsi donc, sous l'empire de la fermentation ou de la putréfaction, les corps organisés se décomposent et dissocient leurs molécules organiques ; puis, après avoir erré en liberté pendant un temps illimité, lorsque les circonstances plastiques viennent à se manifester, ces molécules se groupent de nouveau pour constituer un nouvel être....

« Bientôt après la manifestation des phénomènes de fermentation et de putréfaction, on reconnaît qu'il se forme, à la surface des liquides en expérience, une pellicule d'abord inapparente, et que le microscope découvre à peine ; puis celle-ci s'épaissit successivement, et finit même parfois par devenir assez tenace. Cette pellicule est évidemment composée par des débris d'animalcules, d'abord de l'ordre le plus infime, et ensuite par ceux d'espèces de plus en plus élevées dans la série des microzoaires. C'est cette même pseudo-membrane que j'ai nommée *pellicule proligère*, parce qu'il est évident que c'est elle qui, à l'instar d'un ovaire improvisé, produit les animalcules. On peut y suivre leur développement à l'aide de nos instruments, et reconnaître qu'ils s'engendrent à même les débris organiques dont elle se compose.

« Les protozoaires, qui forment d'abord la pellicule proligère, sont

1. Pouchet. Hétérogénie ou Traité de la génération spontanée. *Paris*, 1859, in-8°, p. 337 et suivantes.

des monades, des bacteriums et des vibrions. Comment ces animalcules sont-ils produits? Nous ne pouvons le dire, leur extrême petitesse les dérobant à toute espèce d'investigation....

« Lorsque ce sont des végétaux qui apparaissent à la surface des macérations, la pseudo-membrane proligère est alors formée presque uniquement par l'enchevêtrement des myceliums, des champignons rudimentaires, qu'on observe à sa surface..... On pourrait donc ajouter qu'il y a une pellicule proligère cryptogamique. »

Par la réunion des parties des pellicules proligères se forment spontanément les ovules des êtres inférieurs. M. Pouchet décrit toutes les phases du phénomène.

Voilà le système du savant naturaliste de Rouen, œuvre d'une imagination féconde guidée par des observations erronées[1].

En rapportant ici les principes des systèmes sur la génération spontanée qui ont eu le plus de retentissement, mon but principal est de montrer que, dans tous, on fait jouer un rôle essentiel à la matière organique des infusions. Par elle-même, elle jouirait de propriétés spéciales acquises dans l'acte de sa formation antérieure sous l'influence de la vie.

Les matières albuminoïdes conserveraient en quelque sorte un reste de vitalité, qui leur permettrait de s'organiser au contact de l'oxygène, lorsque les conditions de température et d'humidité sont favorables.

Nous allons reconnaître que ces opinions sont tout à fait erronées, et que les matières albuminoïdes ne sont qu'un aliment pour les germes des infusoires et des mucédinées ; qu'elles n'ont pas d'autre rôle dans les infusions, car on peut les remplacer par des matières cristallisables, telles que des sels d'ammoniaque et des phosphates.

Ainsi se trouvent privées d'une de leurs bases essentielles toutes les théories relatives à la formation spontanée des êtres les plus inférieurs.

L'expérience m'a montré, en effet, que l'on pouvait remplacer, dans les essais des chapitres IV, V, VI, l'eau de levûre de bière sucrée, l'urine, le lait, etc., par une infusion composée de la manière suivante :

Eau pure	100
Sucre candi	10
Tartrate d'ammoniaque	0,2 à 0,5
Cendres fondues de levûre de bière	0,1.

1. On peut lire dans les *Annales des sciences naturelles*, 3e sér., III (zool.), 1845, p. 182-189, des assertions non moins nettement formulées de M. le docteur Pineau sur la génération spontanée des infusoires, des cryptogames.

Voir aussi un ouvrage intitulé : Etudes physiologiques sur les animalcules des infusions végétales, comparés aux organes élémentaires des végétaux, par M. Paul Laurent, ancien élève de l'Ecole Polytechnique. *Nancy*, 1854-1858, 2 vol. in-4o (46 pl.).

Si l'on sème dans cette liqueur, en présence de l'air calciné, les poussières qui existent en suspension dans l'air, on y voit naître les bacteriums, les vibrions, les mucédinées, etc. Les matières azotées albumineuses, les matières grasses, les huiles essentielles, les substances colorantes propres à ces organismes, se forment de toutes pièces à l'aide des éléments de l'ammoniaque, des phosphates et du sucre.

Composons la liqueur de la même manière avec addition de craie :

Eau pure	100
Sucre candi	10
Tartrate d'ammoniaque	0,2 à 0,5
Cendres fondues de levûre de bière	0,1
Carbonate de chaux pur	3 à 5 gr.

et les mêmes phénomènes se produiront, mais avec une tendance plus marquée vers les fermentations appelées lactique, visqueuse, butyrique, et tous les ferments végétaux ou animaux propres à ces fermentations prendront naissance simultanément ou successivement.

Je publierai prochainement un travail détaillé sur les résulats que j'ai obtenus dans ces études, qui m'ont toujours paru offrir un grand intérêt pour la question des générations dites spontanées.

C'est par elles que j'ai été conduit à entreprendre les expériences suivantes dont le succès a dépassé mon attente.

Dans de l'eau distillée pure je dissous un sel d'ammoniaque cristallisé, du sucre candi et des phosphates provenant de la calcination de la levûre de bière; puis je sème dans le liquide quelques spores de *penicillium* ou d'une mucédinée quelconque [1]. Ces spores germent facilement, et bientôt, en deux ou trois jours seulement, le liquide est rempli de flocons de myceliums, dont un grand nombre ne tarde pas à s'étaler à la surface de la liqueur où ils fructifient. La végétation n'a

1. Voici la composition de quelques-unes des liqueurs qui m'ont servi :

20 gr. sucre candi.
2 gr. bitartrate d'ammoniaque.
0 gr. 5 cendres de levûre de bière.
1 litre d'eau pure.

20 gr. sucre candi.
1 gr. acide tartrique.
1 gr. nitrate de potasse.
0 gr. 5 cendres de levure.
1 litre d'eau pure.

C'est à la surface de ces liqueurs ou d'autres analogues que je semais les spores des mucédinées.

On peut remplacer le sel d'ammoniaque par un sel d'éthylamine. Mais je n'ai pas eu de développement des petites plantes en substituant les arséniates aux phosphates. J'ai mis sous les yeux de l'Académie, lors de sa séance du 12 novembre 1860, des exemples variés de ces résultats *

* Cette [illegible] (Note de l'Édition.)

rien de languissant. Par la précaution de l'emploi d'un sel acide d'ammoniaque, on empêche le développement des infusoires, qui, par leur présence, arrêteraient bientôt le progrès de la petite plante, en absorbant l'oxygène de l'air, dont la mucédinée ne peut se passer. Tout le carbone de la plante est emprunté au sucre qui disparaît peu à peu complètement, son azote à l'ammoniaque, sa matière minérale aux phosphates. Il y a donc sur ce point de l'assimilation de l'azote et des phosphates une complète analogie entre les ferments, les mucédinées et les plantes d'un organisme compliqué. C'est ce que les faits suivants achèveront de prouver d'une manière définitive.

Si, dans l'expérience que je viens de rapporter, je supprime l'un quelconque des principes en dissolution, la végétation est arrêtée. Par exemple, la matière minérale est celle qui paraîtrait la moins indispensable pour des êtres de cette nature. Or, si la liqueur est privée de phosphates, il n'y a plus de végétation possible, quelle que soit la proportion du sucre et des sels ammoniacaux. C'est à peine si la germination des spores commence par l'influence des phosphates que les spores elles-mêmes, que l'on a semées, introduisent en quantité infiniment petite. Supprime-t-on de même le sel d'ammoniaque, la plante n'éprouve aucun développement. Il n'y a qu'un commencement de germination très chétive par l'effet de la présence de la matière albuminoïde des spores semées, bien qu'il y ait surabondance d'azote libre dans l'air ambiant ou en dissolution dans le liquide. Enfin, il en est encore de même si l'on supprime le sucre, l'aliment carboné, alors même qu'il y aurait dans l'air ou dans le liquide des proportions quelconques d'acide carbonique. Tout annonce en effet que, sous le rapport de l'origine du carbone, les mucédinées diffèrent essentiellement des plantes phanérogames. Elles ne décomposent pas l'acide carbonique ; elles ne dégagent pas d'oxygène. L'absorption de l'oxygène et le dégagement de l'acide carbonique sont au contraire des actes nécessaires et permanents de leur vie.

Ces faits nous donnent des idées précises sur le mode de nutrition des mucédinées, à l'égard duquel la science ne possède pas encore d'observations suivies [1].

1. Un excellent observateur, M. Bineau, nous a laissé sur les algues vulgaires, plantes un peu supérieures aux mucédinées, et qui en diffèrent surtout par la présence de la matière verte, les résultats suivants, qui montrent que les algues peuvent décomposer l'ammoniaque

« M. Lortet a, depuis plusieurs mois, la complaisance de faire pour moi la récolte des eaux pluviales recueillies à Oullins, et de me l'expédier tous les huit ou quinze jours. A partir du commencement de mai, un brusque changement eut lieu dans la composition de ces eaux. L'ammoniaque y disparut totalement. J'en fis la remarque à M. Lortet, qui m'apprit alors que le flacon servant de récipient pour nos eaux avait commencé à présenter de ces produits orga-

D'autre part, et c'est là peut-être ce qu'il faut remarquer de préférence, ils nous découvrent une méthode à l'aide de laquelle la physiologie végétale pourra aborder sans peine les questions les plus délicates de la vie de ces petites plantes, de manière à préparer sûrement la voie pour l'étude des mêmes problèmes chez les végétaux supérieurs.

Lors même que l'on craindrait de ne pouvoir appliquer aux grands végetaux les résultats fournis par ces organismes d'apparence si infime, il n'y aurait pas moins un grand intérêt à résoudre les difficultés que soulève l'etude de la vie des plantes, en commençant par celles où la moindre complication d'organisation rend les conclusions plus faciles et plus sûres : la plante est réduite ici en quelque sorte à l'état cellulaire, et les progrès de la science montrent de plus en plus que l'étude des actes accomplis sous l'influence de la vie végétale ou animale, dans leurs manifestations les plus compliquées, se ramène en dernière analyse à la découverte des phénomènes propres à la cellule.

nisés verdâtres, dont le développement devient si fréquent sous l'influence de la température des saisons chaudes et de la lumière.

« J'ai fait alors des études spéciales au sujet de l'action des algues sur les sels ammoniacaux et sur les azotates tenus en dissolution dans l'eau environnante. J'ai opéré, d'une part, sur l'algue que sa singulière texture réticulaire m'a fait aisément reconnaître pour l'*hydrodictyon pentagonale*, et, d'une autre part, sur une conferve aux longs filaments verts, qui paraît être la *conferva vulgaris*.

« Des quantités jugées à l'œil égales entre elles de chacune des deux espèces d'algues mentionnées furent enfermées dans des flacons à l'émeri bien bouchés, d'un peu plus d'un demi-litre, avec 250 centimètres cubes d'eau contenant 12 millioniêmes d'ammoniaque ajoutée à l'état de chlorhydrate et une quantité un peu moindre d'azotate de chaux. Les flacons furent ensuite exposés, les uns sur une fenêtre où ils recevaient les rayons du soleil, les autres dans le voisinage, mais dans l'obscurité

« Après dix jours, le liquide de chaque flacon fut filtré et soumis à un essai ammonimétrique.

« On a trouvé que l'*hydrodictyon* avait fait disparaître au soleil presque les trois quarts de l'ammoniaque, et la *conferva vulgaris* près de la moitié. A l'obscurité, l'absorption de l'ammoniaque fut environ moitié moindre.

« Dans aucun des liquides des flacons il ne resta la moindre trace appréciable d'azote.

« Un dégagement notable de bulles gazeuses s'était, comme d'habitude, manifesté sous l'influence des rayons solaires autour des plantes mises en expérience. » (*Mémoires de l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Lyon*, nouv. sér., III, 1853, p. 369.)

SUR LES CORPUSCULES ORGANISÉS QUI EXISTENT DANS L'ATMOSPHÈRE. EXAMEN DE LA DOCTRINE DES GÉNÉRATIONS SPONTANÉES [1]

Leçon professée à la Société chimique de Paris, le 19 mai 1861.

MESSIEURS,

Existe-t-il des circonstances dans lesquelles on ait vu se produire des générations spontanées, dans lesquelles on ait vu la matière ayant appartenu à des êtres vivants conserver en quelque sorte un reste de vie et s'organiser d'elle-même? Voilà la question à résoudre. Il ne s'agit ici ni de religion, ni de philosophie, ni de systèmes quelconques. Peu importent les affirmations ou les vues *a priori*. C'est une question de fait. Et, vous le remarquerez, je n'ai pas la prétention d'établir que jamais il n'existe de générations spontanées. Dans les sujets de cet ordre on ne peut pas prouver la négative. Mais j'ai la prétention de démontrer avec rigueur que dans toutes les expériences où l'on a cru reconnaître l'existence de générations spontanées, chez les êtres les plus inférieurs, où le débat se trouve aujourd'hui relégué, l'observateur a été victime d'illusions ou de causes d'erreur qu'il n'a pas aperçues ou qu'il n'a pas su éviter.

Faisons d'abord l'histoire rapide de notre sujet.

Dans l'antiquité et jusqu'à la fin du moyen âge tout le monde croyait aux générations spontanées. Aristote dit que tout corps sec qui devient humide et tout corps humide qui se sèche engendrent des animaux. Van Helmont décrit le moyen de faire naître des souris.

De pareilles erreurs ne pouvaient supporter longtemps l'esprit

1. *In* : Leçons de chimie et de physique professées en 1861 (à la Société chimique de Paris). *Paris*, 1862, L. Hachette et Cie, in-8°, p. 219-254.

Cette Leçon, antérieure de quelques mois au Mémoire qui précède, est un résumé de ce Mémoire. Les textes de la Leçon et du Mémoire sont souvent identiques. (*Note de l'Édition.*)

d'examen qui s'empara de l'Europe au seizième et au dix-septième siècle.

Redi, membre célèbre de l'Académie *del Cimento*, fit voir que les vers de la chair en putréfaction étaient des larves d'œufs de mouches. Ses preuves étaient aussi simples que décisives, car il montra qu'il suffisait d'entourer d'une gaze fine la matière en putréfaction pour empêcher d'une manière absolue la naissance de ces larves.

Mais bientôt dans la seconde partie du dix-septième siècle et la première moitié du dix-huitième, les observations se multiplièrent à l'envi, à l'aide du précieux et nouvel instrument que l'on venait de découvrir et auquel on avait donné le nom de microscope. La doctrine des générations spontanées reparut alors. Les uns, ne pouvant s'expliquer l'origine de ces êtres si variés que le microscope faisait apercevoir dans les infusions des matières végétales et animales, et ne voyant chez eux rien qui ressemblât à une génération sexuelle, furent portés à admettre que la matière qui avait eu vie conservait une vitalité propre, sous l'influence de laquelle ses parties disjointes se réunissaient de nouveau, dans certaines conditions favorables, et avec des variétés de structure et d'organisation que ces conditions mêmes déterminaient.

D'autres au contraire, ajoutant par l'imagination aux résultats merveilleux que l'observation leur faisait découvrir, croyaient voir des accouplements dans ces infusoires, des mâles, des femelles, des œufs, et se posaient en adversaires déclarés de la génération spontanée.

Il faut bien le reconnaître, les preuves à l'appui de l'une ou de l'autre opinion ne soutenaient guère l'examen.

La question en était là lorsque parut à Londres, en 1745, un ouvrage de Needham, observateur habile et prêtre catholique d'une foi vive, circonstance qui, dans un tel sujet, s'offrait comme un sûr garant de la sincérité de ses convictions.

Dans cet ouvrage, la doctrine des générations spontanées était appuyée par des expériences directes d'un genre tout nouveau.

L'ouvrage de Needham eut un grand retentissement.

Deux années ne s'étaient pas écoulées depuis sa publication que la Société royale de Londres admettait son auteur au nombre de ses membres. Plus tard il devint l'un des huit associés de l'Académie des sciences.

D'ailleurs Buffon prêta aux idées de Needham, sur la génération spontanée, l'appui de son beau langage. Son système des *molécules organiques* n'est qu'une variante des idées de Needham sur la *force végétative*. Il est présumable que les résultats de Needham eurent une

grande influence sur les vues de Buffon, car c'est à l'époque même où cet illustre naturaliste rédigeait son ouvrage que Needham fit un voyage à Paris, durant lequel il fut le commensal de Buffon.

Mais les conclusions de Needham ne tardèrent pas à être soumises à une vérification expérimentale. Il y avait alors en Italie l'un des plus habiles physiologistes dont la science puisse s'honorer, le plus ingénieux, le plus difficile à satisfaire, l'abbé Spallanzani.

L'expérience seule pouvait condamner ou absoudre les opinions de Needham. C'est ce que Spallanzani comprit très bien. « Dans plusieurs villes d'Italie, dit-il, on a vu des partis formés contre l'opinion de M. de Needham ; mais je ne crois pas que personne ait jamais songé à l'examiner par la voie de l'expérience. »

Il serait sans utilité de présenter un historique complet de la querelle des deux savants naturalistes. Mais il importe de bien préciser la difficulté expérimentale à laquelle ils appliquèrent plus particulièrement leurs efforts, et de rechercher si ce long débat avait éloigné tous les doutes. C'est ce que l'on croit généralement. Spallanzani est volontiers regardé comme l'adversaire victorieux de Needham. Un examen impartial de leurs observations contradictoires sur le point le plus délicat du sujet va nous montrer que Needham ne pouvait, en toute justice, abandonner sa doctrine en présence des travaux de Spallanzani.

J'ai dit que Needham avait appuyé la doctrine des générations spontanées sur des expériences directes. C'est lui, en effet, qui est l'auteur de la méthode des expériences en vases clos exposés préalablement à l'action du feu.

« M. de Needham, dit Spallanzani, nous assure que les expériences ainsi disposées ont toujours réussi fort heureusement entre ses mains, c'est-à-dire que les infusions ont montré des infusoires et que c'est là ce qui a mis le sceau à son système.

« Si, après avoir purgé, ajoute Spallanzani, par le moyen du feu, et les substances que l'on met dans les vases et l'air contenu dans ces mêmes vases, on porte encore la précaution jusqu'à leur ôter toute communication avec l'air ambiant, et que, malgré cela, à l'ouverture des fioles, on y trouve encore des animaux vivants, cela deviendra une forte preuve contre le système des ovaires; *j'ignore même ce que ses partisans pourront y répondre.* »

Notez bien ces derniers mots. Ils prouvent que Spallanzani plaçait dans le résultat des expériences ainsi conduites le criterium de la vérité ou de l'erreur. Or, nous allons voir que tel était également l'avis de Needham, par la citation suivante, extraite des notes de Needham :

« Il ne me reste plus, dit Needham, qu'à parler de la dernière expérience de Spallanzani, qu'il regarde lui-même comme la seule de toute sa dissertation qui paraît avoir quelque force contre mes principes.

« Il a scellé hermétiquement dix-neuf vases remplis de différentes substances végétales, et il les a fait bouillir, ainsi fermés, pendant l'espace d'une heure. Mais de la façon qu'il a traité et mis à la torture ses dix-neuf infusions végétales, il est visible que non seulement il a beaucoup affaibli, ou peut-être totalement anéanti la *force végétative* des substances infusées, mais aussi qu'il a entièrement corrompu, par les exhalaisons et par l'ardeur du feu, la petite portion d'air qui restait dans la partie vide de ses fioles....

« Voici donc ma dernière proposition et le résultat de tout mon travail en peu de mots : Qu'il se serve, en renouvelant ses expériences, de substances suffisamment cuites pour détruire tous les prétendus germes qu'on croit attachés ou aux substances mêmes ou aux parois intérieures, ou flottant dans l'air du vase ; ... qu'il plonge ensuite ses vases, scellés hermétiquement, dans l'eau bouillante pendant quelques minutes, le temps seulement qu'il faut pour durcir un œuf de poule et pour faire périr les germes, ... et je réponds qu'il trouvera toujours de ces êtres vitaux microscopiques en nombre suffisant pour prouver mes principes. S'il ne trouve, à l'ouverture de ses vases, après les avoir laissés reposer le temps nécessaire à la génération de ces corps, rien de vital ni aucun signe de vie, en se conformant à ces conditions, j'abandonne mon système et je renonce à mes idées. C'est, je crois, tout ce qu'un adversaire judicieux peut exiger de moi. »

Voilà certes le débat bien nettement limité entre les deux observateurs. C'est dans le chapitre III du tome premier de ses *Opuscules* que Spallanzani aborde cette difficulté décisive. Et quelle est sa conclusion ? Pour supprimer toute production d'infusoires il est nécessaire de maintenir trois quarts d'heure les infusions à la température de l'eau bouillante.

Or, cette durée obligée d'une température de 100° pendant trois quarts d'heure ne justifiait-elle pas les craintes de Needham sur une altération possible de l'air des vases ? Il aurait fallu tout au moins que Spallanzani joignît à ses expériences une analyse de cet air, mais la science n'était pas encore assez avancée. L'eudiométrie n'était pas créée. La composition de l'air était à peine connue.

Mais bien plus, nous allons voir les objections de Needham légitimées, au moins en apparence, par les progrès ultérieurs de la science.

Appert appliqua à l'économie domestique les résultats des expériences de Spallanzani effectuées selon la méthode de Needham. Par exemple, l'une des expériences du savant italien consiste à introduire des petits pois avec de l'eau dans un vase de verre que l'on ferme ensuite hermétiquement, après quoi on le maintient dans l'eau bouillante pendant trois quarts d'heure. C'est bien le procédé d'Appert. Or, Gay-Lussac, voulant se rendre compte de ce procédé, le soumit à divers essais et arriva au résultat suivant :

« On peut se convaincre, dit Gay-Lussac, en analysant l'air des bouteilles dans lesquelles les substances bœuf, mouton, poisson, champignons, moût de raisin ont été bien conservées, qu'il ne contient plus d'oxygène, *et que l'absence de ce gaz est par conséquent une condition nécessaire pour la conservation des substances animales et végétales.* »

Ne prenons que la première partie de cette assertion de Gay-Lussac, à savoir, qu'il n'y a plus d'oxygène dans les conserves d'Appert. Ne voyez-vous pas qu'elle justifie les craintes de Needham sur une altération de l'air des vases dans les expériences de Spallanzani ? Comme je le disais tout à l'heure, par conséquent, Spallanzani n'avait pas triomphé des objections de Needham.

Mais vous allez reconnaître que ceci n'est que la surface des choses.

Au mois de février 1837, le Dr Schwann, de Berlin, ajouta un progrès notable dans la question qui nous occupe. Il publia le fait suivant : Une infusion de chair est mise dans un ballon de verre. On ferme ensuite le ballon à la lampe, puis on l'expose tout entier à la température de l'eau bouillante, et après son refroidissement on l'abandonne à lui-même. Le liquide ne se putréfie pas. Jusque-là rien de bien nouveau. C'est une conserve d'Appert. Le Dr Schwann [ne parle pas des expériences d'Appert, de Gay-Lussac, de Spallanzani. (Je répare cet oubli, parce que l'une de mes préoccupations dans cette Leçon sera de chercher à rendre à chaque expérimentateur la part de progrès qui lui est due.) Mais il était désirable, ajoute M. Schwann, de modifier l'essai de telle manière qu'un renouvellement de l'air devînt possible, avec cette condition toutefois, que le nouvel air fût préalablement chauffé comme l'est celui du ballon à l'origine. Alors M. Schwann répète l'expérience précédente, en faisant arriver dans le ballon, aussitôt après l'ébullition, de l'air froid, mais qui passait préalablement dans des tubes de verre entourés de bains d'alliage fusible. Le résultat fut le même, il n'y eut pas d'altération du liquide organique.

C'était là un grand progrès. En effet, cela montrait l'erreur de l'interprétation de Gay-Lussac, relative à l'influence du gaz oxygène dans l'altération des conserves. Non, l'absence de l'oxygène n'est pas, comme le pensait Gay-Lussac, une condition nécessaire de l'inaltérabilité des conserves d'Appert.

Voilà le progrès du Dr Schwann. Il a montré que les conserves d'Appert continuaient de se conserver en présence de l'air, pourvu que l'air eût été chauffé. Et il a donné raison à Spallanzani contre Needham.

Quelle fut, messieurs, la conclusion que le Dr Schwann déduisit de son expérience? Que ce n'est pas l'oxygène seul qui occasionne la putréfaction, mais un principe renfermé dans l'air ordinaire, que la chaleur peut détruire. — La réserve de cette conclusion mérite d'être remarquée. Il ne dit pas que par la chaleur il détruit des germes. C'eût été aller au delà des faits. C'eût été ajouter une hypothèse a son travail, bien que l'on voie qu'il penche à croire que ses résultats sont favorables à la vieille hypothèse de la dissémination des germes.

Les expériences du Dr Schwann ont été répétées et modifiées par divers observateurs. MM. Ure et Helmholtz ont confirmé ses résultats par des expériences analogues aux siennes. M. Schulze, au lieu de calciner l'air avant de le mettre au contact des conserves d'Appert, le fit passer à travers des réactifs chimiques énergiques, potasse et acide sulfurique concentrés. MM. Schrœder et von Dusch imaginèrent de filtrer l'air à travers du coton au lieu de le modifier par une température élevée ou par les réactifs chimiques. Le premier mémoire de M. Schrœder a paru en 1854, le second en 1859. Ce sont d'excellents travaux, qui ont en outre le mérite historique de montrer l'état de la question qui nous occupe à la date de 1859. Je vais en présenter le résumé rapide.

On savait depuis longtemps, et dès les premières discussions sur la génération spontanée, qu'une gaze fine, déjà employée avec tant de succès par Redi, suffisait pour empêcher ou tout au moins pour modifier singulièrement l'altération des infusions. Ce fait même était au nombre de ceux qu'invoquaient alors de préférence les adversaires de la doctrine des générations spontanées.

Voici, par exemple, un passage d'un ouvrage bien connu sur le microscope, par Baker, membre de la Société royale de Londres, dont la traduction française parut en 1754.

« J'ai trouvé constamment, dit Baker, que si l'infusion (de poivre, de foin) est couverte d'une mousseline ou d'une autre toile fine, il ne s'y produit que très peu d'animaux, mais que si l'on ôte cette couver-

ture, elle est dans peu de jours pleine de vie.... Comme les œufs de ces petites créatures sont moins pesants que l'air, il peut se faire qu'il en flotte continuellement des millions dans l'air, et qu'étant portés indifféremment de tous les côtés, il en périsse un grand nombre dans les endroits qui ne conviennent pas à leur nature.... Il y a des gens qui s'imaginent que les œufs de ces petits animaux sont logés dans le poivre, dans le foin, ou dans toutes les autres matières que l'on met dans l'eau ; mais, si cela était, je ne saurais comprendre comment une petite couverture d'une toile fine, qui n'empêche pas l'air de pénétrer, pourrait empêcher ces œufs d'éclore. »

Guidés sans doute par ces faits, et surtout, comme ils le disent expressément, par les expériences ingénieuses de M. Lœwel, qui reconnut que l'air ordinaire était impropre à provoquer la cristallisation du sulfate de soude, lorsqu'il avait été filtré sur du coton, MM. Schrœder et von Dusch ont procédé de la manière suivante :

Un ballon de verre reçoit la matière organique. Le bouchon du ballon est traversé par deux tubes recourbés à angle droit. L'un de ces tubes communique avec un aspirateur à eau ; l'autre avec un large tube d'un pouce de diamètre et de vingt pouces de longueur, rempli de coton. On chauffait alors la matière organique en maintenant l'ébullition un temps suffisant pour que tous les tubes de communication fussent échauffés fortement par la vapeur d'eau. Alors on ouvrait le robinet de l'aspirateur.

Dans leur premier travail, MM. Schrœder et von Dusch ont opéré :

1° Sur de la viande avec addition d'eau ;

2° Sur le moût de bière ;

3° Sur le lait ;

4° Sur la viande sans addition d'eau.

Dans les deux premiers cas, l'air filtré à travers le coton a laissé intactes les liqueurs. Mais le lait s'est caillé et la viande sans eau est entrée en putréfaction.

« Il semble donc résulter de ces expériences, disent MM. Schrœder et von Dusch, qu'il y a des décompositions spontanées de substances organiques qui n'ont besoin pour commencer que de la présence du gaz oxygène ; par exemple, la putréfaction de la viande sans eau, la putréfaction de la caséine du lait et la transformation du sucre de lait en acide lactique. Mais à côté il y aurait d'autres phénomènes de putréfaction et de fermentation placés, à tort, dans la même catégorie que les précédents, tels que la putréfaction du jus de viande et la fermentation alcoolique, qui exigeraient pour commencer, outre l'oxygène, ces choses inconnues mêlées à l'air atmosphérique, qui sont

détruites par la chaleur d'après les expériences de Schwann, et d'après les nôtres par la filtration de cet air à travers le coton..... Comme il reste ici encore tant de questions à décider par la voie de l'expérience, nous nous abstiendrons de déduire aucune conclusion théorique de nos expériences. »

M. Schrœder revint seul sur le sujet en 1859, dans un mémoire qui traite en outre de la cause de la cristallisation. Ce nouveau travail ne conduisit pas davantage son auteur à des conclusions dégagées de toute incertitude. Il y fait connaître de nouveaux liquides organiques qui ne se putréfient pas lorsqu'on les met au contact de l'air filtré, et il ajoute le jaune d'œuf à la liste de ceux qui, comme le lait et la viande sans eau, se putréfient dans l'air filtré sur le coton.

« On pourrait admettre, dit-il, que l'air frais renferme une substance active qui provoque les phénomènes de fermentation alcoolique et de putréfaction, substance que la chaleur détruirait, ou que le coton arrêterait. Faut-il regarder cette substance active comme formée de germes organisés microscopiques disséminés dans l'air? Ou bien est-ce une substance chimique encore inconnue? je l'ignore. »

Puis il arrive aux phénomènes de cristallisation par l'air libre, ou par l'air filtré à la manière de Lœwel, et il finit par identifier complètement la cause de la cristallisation et de la putréfaction.

Remarquez-le bien, messieurs, ce travail est de 1859. Vous comprendrez maintenant les difficultés qui, à cette date, devaient assiéger tout esprit impartial, libre d'idées préconçues et désireux de se former une opinion dûment motivée sur cette grave question des générations spontanées. Tous ceux qui la croyaient résolue en connaissaient mal l'histoire.

Spallanzani n'avait pas triomphé des objections de Needham, et MM. Schwann, Schulze et Schrœder n'avaient fait que démontrer l'existence dans l'air d'un principe inconnu, comme ils le disent expressément, qui était la condition de la vie dans les infusions.

Et puis, les expériences de Schwann, de Schulze, de Schrœder échouaient quand on les répétait sur certains liquides. Bien plus, elles échouaient constamment et pour tous les liquides lorsqu'on employait la cuve à mercure.

Aussi lorsque, postérieurement aux travaux dont je viens de parler, à la fin de l'année 1859, un habile naturaliste de Rouen, M. Pouchet, membre correspondant de l'Académie, vint annoncer des résultats sur lesquels il croyait asseoir d'une manière définitive la doctrine des générations spontanées, personne ne sut indiquer la véritable cause d'erreur de ses expériences. Et bientôt l'Académie des sciences,

malgré les protestations qui avaient accueilli dans son sein les communications de M. Pouchet, comprenant tout ce qui restait encore à faire, proposa pour sujet de prix la question suivante :

« Essayer, par des expériences bien faites, précises, rigoureuses, également étudiées dans toutes leurs circonstances, de jeter un jour nouveau sur la question des générations spontanées. »

La question paraissait alors si obscure que M. Biot, dont la bienveillance n'a jamais fait défaut à mes études, me voyait avec peine engagé dans ces recherches, et réclamait de ma déférence à ses conseils l'acceptation d'une limite de temps au delà de laquelle j'abandonnerais ce sujet, si je n'avais pas vaincu les difficultés qui m'arrêtaient. Notre illustre président, M. Dumas, dont la bienveillance a souvent conspiré en ce qui me touche avec celle de M. Biot, se rappellera peut-être qu'à la même époque il me disait : « Je ne conseillerais à personne de rester trop longtemps dans ce sujet. »

Mais quel besoin avais-je donc de m'attacher à cette étude? Un besoin impérieux que vous allez comprendre.

Les chimistes ont découvert depuis vingt ans une foule de phénomènes vraiment extraordinaires, désignés sous le nom générique et déjà bien ancien de fermentations. Tous ces phénomènes exigent le concours de deux matières, l'une dite fermentescible, telle que le sucre, l'autre azotée, appelée ferment, qui est toujours une matière albuminoïde. Or voici la théorie qui était universellement admise : Les matières albuminoïdes exposées au contact de l'air éprouvent une altération, une oxydation particulière, de nature inconnue, qui leur donne le caractère de ferment, c'est-à-dire la propriété d'agir ensuite par leur contact sur les substances fermentescibles.

Il y avait bien une fermentation, la plus ancienne et la plus remarquable de toutes, la fermentation alcoolique, où le ferment était un végétal microscopique. Mais, comme dans toutes les fermentations de découverte plus moderne on n'avait pu reconnaître des êtres organisés, on avait abandonné peu à peu, bien à regret sans doute, l'hypothèse d'une relation probable entre l'organisation de ce ferment et sa propriété d'être ferment, et l'on appliquait à la levûre de bière la théorie générale, et l'on disait : ce n'est pas parce qu'elle est organisée qu'elle agit, c'est parce qu'elle a été au contact de l'air, et c'est la portion de la levûre qui est morte, qui est en voie de putréfaction, qui agit sur le sucre.

Dans des études persévérantes et qui sont bien loin de leur terme, j'arrivai à des conclusions entièrement différentes et je reconnus que toutes les fermentations proprement dites, visqueuse, lactique, buty-

rique, la fermentation de l'acide tartrique, de l'acide malique.... étaient toujours coexistantes avec la présence d'êtres organisés, et que loin que l'organisation de la levûre de bière fût une chose gênante pour la théorie, c'était par là au contraire qu'elle rentrait dans la loi commune et qu'elle était le type de tous les ferments proprement dits. En d'autres termes, je trouvais que les matières albuminoïdes, dans les fermentations proprement dites, n'étaient jamais des ferments, mais l'aliment des ferments, et que les vrais ferments étaient des êtres organisés. Or ils prennent naissance, on le savait, par le fait du contact des matières albuminoïdes et de l'oxygène. Dès lors, de deux choses l'une : ces ferments organisés étaient des générations spontanées, si l'oxygène seul, en tant qu'oxygène, leur donnait naissance par son contact avec les matières organisées ; ou bien ces ferments organisés n'étaient pas des générations spontanées, et alors ce n'était pas en tant qu'oxygène seul que ce gaz agissait, mais comme excitant d'un germe apporté en même temps que lui ou existant dans les matières. Voilà comment il était indispensable, au point où je me trouvais de mes études sur les fermentations, que je résolusse, s'il était possible, la question des générations spontanées. Les recherches dont j'ai maintenant à vous rendre compte n'ont donc été qu'une digression, mais une digression obligée de mes travaux sur les fermentations.

Et c'est ainsi que j'ai été conduit à m'occuper d'un sujet qui jusque-là n'avait exercé que la sagacité des naturalistes.

Si je ne me trompe, messieurs, l'analyse des travaux que je viens de vous présenter et qui nous conduit jusqu'à l'année 1859 posait le débat en termes très nets. La plupart des naturalistes, forts de l'analogie et de la restriction chaque jour plus grande apportée au nombre des faits de génération prétendue spontanée, admettaient l'ancienne hypothèse de la dissémination aérienne des germes, et affirmaient que c'étaient ces germes que l'on arrêtait ou que l'on détruisait dans les expériences de Schwann, de Schulze et de Schrœder. Les partisans de la génération spontanée, au contraire, affirmaient que dans ces expériences on détruisait un principe inconnu, peut-être un gaz analogue à l'ozone, peut-être un fluide.... enfin quelque chose sans vie qui était le *primum movens* de la vie dans les infusions, ainsi que M. Schrœder et M. Schwann lui-même le laissaient supposer. Si ce sont des germes, ajoutaient-ils, montrez-les. Ce sont choses visibles et reconnaissables au microscope. On ne peut pas nier, disaient-ils encore, que, dans la poussière déposée à la surface des objets ou des monuments les plus anciens, il n'y ait quelquefois des spores ou des œufs de microzoaires,

mais il y en a en nombre excessivement restreint, comme il y a partout des semences voyageuses.

L'un des partisans les plus déclarés de la doctrine des générations spontanées, M. Pouchet, s'exprime ainsi :

« On rencontre parfois dans la poussière quelques œufs de microzoaires, mais c'est une véritable exception. »

Plus loin il dit :

« Parmi les corpuscules de poussière qui appartiennent au règne végétal, il y a des *spores de cryptogames, mais en fort petit nombre.* » Et il ajoute : « J'ai constamment rencontré une certaine quantité de fécule de blé.... Il est évident que c'est cette fécule ou que ce sont des grains de silice que l'on a pris pour des œufs de microzoaires. »

Voilà exactement le point où j'ai pris la question.

Remarquons d'abord qu'il ne sert pas à grand'chose d'étudier la poussière au repos. Quel volume d'air l'a fournie ? Il est impossible de le dire. Et puis, des corpuscules en suspension dans l'air quels sont ceux qui se déposent ? Les plus lourds, c'est-à-dire les corpuscules minéraux ou les corpuscules organiques du plus grand volume, et ce sont au contraire les plus légers que nous aurions intérêt à recueillir et à étudier.

Or voici un moyen simple de rassembler les corpuscules qui sont en suspension dans l'air, et de les examiner au microscope. Plaçons dans un tube de verre une petite bourre de coton-poudre, de la variété de ce coton qui est soluble dans l'éther acétique ou dans un mélange d'alcool et d'éther. Puis, à l'aide d'un aspirateur à eau, faisons passer dans le tube un volume d'air déterminé. Les particules de poussière seront arrêtées, au moins en très grande partie, par les fibres du coton. Alors dissolvons le coton dans le mélange éthéré. Par un repos de vingt-quatre heures toutes les poussières tomberont au fond du tube, où il sera facile de les laver plusieurs fois par décantation. On les transporte alors dans un verre de montre, où le restant du liquide s'évapore ; puis on les soumet sur le porte-objets du microscope à divers réactifs propres à déceler leur nature. Le mieux est de les délayer dans l'acide sulfurique concentré, qui dissout sur-le-champ la fécule, et qui n'altère pas la forme de beaucoup de germes des moisissures ou des infusoires, et c'est la forme surtout qui sert à les reconnaître. L'acide sulfurique a, en outre, l'avantage de disjoindre les corpuscules de nature diverse, de les isoler et de permettre ainsi de mieux reconnaître ceux qui sont organisés ; car ces derniers se trouvent souvent englobés par des poussières amorphes qui empêchent de bien distinguer leurs contours.

Cela posé, voici le résultat auquel on arrive. Aux poussières amorphes se trouvent constamment associés des corpuscules évidemment organisés, de volume, de forme et de structure très variables. J'ai l'honneur de faire passer sous vos yeux quelques dessins qui les représentent. Imaginez de petits globules d'une sphéricité parfaite ou légèrement ovoïdes, translucides ou remplis de granulations, quelquefois avec de petites sphères intérieures qui rappellent tout à fait des nucléus ou des nucléoles de cellules..., et vous aurez une idée de ces corpuscules. Peut-on dire : celui-ci est une spore, celui-là est un œuf? et bien plus, car M. Pouchet voudrait que j'allasse jusque-là, la spore de telle moisissure et l'œuf de tel infusoire? vraiment je ne le crois pas. On peut affirmer la ressemblance parfaite avec des germes d'organismes inférieurs, mais voilà tout.

Et quel en est le nombre? Il est très variable, suivant les conditions atmosphériques. Ainsi je ne doute pas, d'après ce que j'ai constaté dans ce genre d'études qu'il serait si utile de poursuivre, d'étendre et de perfectionner, que la transparence de l'air après la pluie est due en grande partie à l'entraînement des poussières à la surface du sol par les gouttes de pluie. Je ne doute pas davantage que le brouillard ne doive une partie de son opacité aux nombreux corpuscules amorphes et organisés qu'il renferme.

Quoi qu'il en soit, voici un résultat qui vous donnera une idée du nombre vraiment notable des corpuscules organisés qui existent en suspension dans l'air d'une rue de Paris peu fréquentée, la rue d'Ulm. Faites passer pendant vingt-quatre heures, après une succession de beaux jours, un courant d'air assez rapide sur une petite bourre de coton d'un centimètre de long sur un demi-centimètre de large (qui n'arrête pas toutes les poussières, car on en retrouve sur une deuxième, sur une troisième.... si on en place plusieurs à la suite dans le même tube , et il sera facile de compter dans la poussière recueillie et délayée dans l'acide sulfurique concentré plusieurs milliers de corpuscules organisés. Le calcul est bien simple en connaissant le rapport des surfaces réelles du champ et de la goutte de liquide étalée, et le nombre moyen de corpuscules que l'on aperçoit dans chaque champ que l'on considère.

M. Pouchet, pour réfuter ces expériences, a opéré sur de la neige fondue. J'ignore si ce moyen vaut le mien. Mais dans tous les cas il aurait fallu faire fondre la première neige tombée, et non la dernière. M. Pouchet dit qu'il s'est servi de la dernière.

Voilà qui est bien acquis : l'air charrie constamment, et, par suite, laisse déposer sans cesse, à la surface des objets, des corpuscules

organisés dont la forme et la structure ne permettent pas de les distinguer des germes des organismes les plus inférieurs. Ces corpuscules sont-ils des germes féconds? C'est ce qu'il faut essayer de rechercher par l'expérience. L'expérience est naturellement indiquée : il faut les semer dans une liqueur putrescible propre à la nourriture des infusoires et des cryptogames, et voir ce qui en résultera, avec cette précaution, d'ailleurs indispensable, d'éloigner complètement l'accès de l'air ordinaire, que nous savons être actif sans en connaître la cause, et, d'une manière non moins absolue, toute manipulation sur la cuve à mercure. Son emploi, je le dirai tout à l'heure, troublerait tous les résultats.

Dans un ballon de 250 centimètres cubes j'introduis 100 centimètres cubes d'eau de levûre sucrée ou non sucrée ; j'adapte l'extrémité étirée du col à un tube de platine entouré d'un manchon que l'on chauffe au gaz à une température rouge. Je fais bouillir le liquide, de manière à chasser l'air ordinaire par la vapeur d'eau. Après le refroidissement, le ballon se trouve rempli d'air à la pression ordinaire, et qui a été porté au rouge ; on ferme le col à la lampe. Le ballon peut être alors abandonné à lui-même indéfiniment sans éprouver aucune altération.

C'est dans ce ballon que nous allons suivre les effets de l'introduction des poussières de l'air, mais il nous faut une méthode irréprochable, qui éloigne toute cause d'erreur. Supposez pour un instant que nous puissions remplir cette salle d'air calciné. L'opération serait bien simple : nous savons que cet air est inactif sur ce liquide. Nous briserions le [col du] ballon et nous introduirions nos poussières. Si un effet quelconque se produisait, il serait dû aux poussières déposées. On ne pourrait l'attribuer à rien autre chose. Eh bien, c'est précisément la condition que nous allons réaliser à l'aide de cet appareil.

Un tube de platine avec son manchon de terre cuite et son appareil à gaz, un tube en T muni de robinets. L'une des branches communique au tube de platine, la deuxième à la machine pneumatique, et la troisième à un gros tube de verre.

Dans ce gros tube plaçons un fragment de l'une de nos bourres de coton chargées de poussières de l'air, à l'aide d'un tube de verre de petit diamètre. Enfin adaptons le ballon à l'aide d'un caoutchouc, ballon que je supposerai être à l'étuve depuis deux mois par exemple. Cela posé, faisons le vide dans l'appareil, après avoir fermé le robinet qui communique au tube de platine ; laissons rentrer l'air calciné ; et répétons cette manœuvre dix à douze fois. Le petit tube à coton sera entouré d'air calciné, c'est-à-dire inactif, puisque le ballon en est rempli depuis deux mois sans que son liquide ait éprouvé d'altération.

Alors je brise la pointe du ballon à travers le caoutchouc et je laisse glisser le petit tube dans le ballon, que je referme à la lampe et que je reporte à l'étuve, dans la même situation qu'auparavant. Qu'y a-t-il dans ce ballon de plus que tout a l'heure? Les poussières qui existent dans l'air : rien de plus.

Voyons maintenant les résultats. Après vingt-quatre, trente-six ou quarante-huit heures au plus, on voit toujours des productions organisées apparaître. En plaçant le ballon entre l'œil et la lumière, on les distingue dès leur premier commencement, a cause de la limpidité parfaite du liquide. Cette limpidité n'est troublée que s'il y a formation d'infusoires, et c'est là un excellent indice pour savoir que les infusoires ont pris naissance. Comme ils voyagent partout dans la masse du liquide, ils en troublent promptement la transparence. Les moisissures s'annoncent par des touffes de mycelium plus ou moins serrées, plus ou moins soyeuses, suivant les espèces qui sont nées. Les torulacées s'annoncent de leur côté par des traînées blanches, sous forme de précipités sur les parois du ballon.

Comme on voit bien, en suivant pas à pas ce genre d'expérience, tout ce qu'il y a de faux dans cette assertion des partisans des générations spontanées, à savoir que l'apparition des premiers organismes est toujours précédée par des phénomènes de fermentation ou de putréfaction, et que la formation des animalcules dans les macérations est précédée d'un dégagement de gaz divers dus à la décomposition des substances qu'on a employées, après quoi il se forme à la surface des liquides une pellicule particulière!

Aussi, lorsqu'on me parle de mouvement fermentescible que je détermine dans mes liqueurs en y déposant les poussières, *mouvement fermentescible nécessaire pour l'évolution des forces génésiques*, je ne vois là que des mots vagues auxquels l'expérience m'apprend à ne prêter aucun sens raisonnable.

Mais il y a une contre-épreuve nécessaire. Il faut répéter la même expérience *à blanc*, afin de voir si la manipulation n'a pas par elle-même une influence sur le résultat. A cet effet, chargeons des poussières qui sont en suspension dans l'air, non plus du coton, mais de l'amiante. L'expérience d'ensemencement réussit tout aussi bien qu'avec le coton. Mais faisons l'essai en passant l'amiante dans la flamme avant de l'introduire dans le petit tube, de manière à détruire tous les germes. On ne verra aucune production d'aucune sorte apparaître dans le ballon à la suite de l'introduction dans le ballon de cette amiante calcinée.

Il est très curieux d'étudier dans ces expériences l'influence que

le développement d'une production peut avoir sur une production voisine. Il n'est pas rare, par exemple, de voir un mycelium dont l'accroissement de volume était chaque jour plus sensible s'arrêter tout à coup parce que le liquide est devenu trouble et que des infusoires ont pris naissance. Cela tient uniquement à ce que les infusoires s'emparent de l'air en dissolution, air nécessaire à la vie de la plante. Pareil effet peut avoir lieu sous l'influence du développement d'un mycelium nouveau plus vivace que le premier. Et, la preuve que c'est simplement l'air qui manque à la plante, c'est que si vous renversez le ballon de manière à amener la plante dans le goulot, et que vous la laissiez là, le goulot incliné, librement exposée à l'air du ballon, vous la voyez en quelques heures reprendre sa marche et, le lendemain, offrir un développement des plus marqués qui, bientôt même enlevant tout l'air, s'oppose au développement des autres productions qui sont dans le liquide du ballon. Si ce sont des infusoires, le liquide s'éclaircit. Ils meurent tous et viennent se déposer au fond du ballon, comme ferait un précipité. Dès qu'il n'y a plus d'oxygène, la vie est suspendue. Les choses restent telles quelles indéfiniment.

La rapidité de l'absorption du gaz oxygène, qui se trouve toujours remplacé par de l'acide carbonique en proportions variables, est souvent considérable. Il suffit quelquefois de deux ou trois jours pour que tout l'oxygène disparaisse.

N'abandonnons pas ce genre d'expérience sans lui faire donner un résultat nouveau bien digne d'intérêt dans le sujet qui nous occupe. On voit que l'appareil est disposé de telle façon qu'il est bien facile de soumettre les poussières à l'action d'une température plus ou moins élevée à l'état sec, avant de les semer dans la liqueur organique. Il suffira de faire plonger le tube en U dans un bain d'eau pure, d'eau saturée de divers sels ou d'huile. Un thermomètre donnera la température exacte du bain.

Cela posé, il sera facile, d'autre part, de comparer l'action de la température sur la fécondité des poussières avec l'action de la température sur la fécondité des véritables spores des moisissures les plus vulgaires.

Eh bien, on arrive à ce résultat, c'est que les poussières qui sont en suspension dans l'air conservent leur fécondité jusqu'à la température de 120° environ. Si l'on élève la température à 130°, les poussières ne donnent plus de productions. Or les spores des moisissures vulgaires sont dans le même cas. Chauffées à l'abri de toute humidité, elles restent fécondes jusqu'à 120°; mais si la température atteint 130°, elles ne germent plus.

Cette correspondance n'est-elle pas une preuve nouvelle que parmi les corpuscules organisés qui existent dans l'air il y a des spores de cryptogames ?

Les expériences que je viens de rapporter me paraissent mettre hors de doute que l'origine des productions organisées des infusions qui ont été portées à l'ébullition est due exclusivement aux poussières qui existent en suspension dans l'atmosphère.

Voici une autre méthode d'expérimentation qui achèvera de le démontrer.

Je place dans un ballon une liqueur putrescible, et j'étire ensuite le col en le recourbant et le contournant de diverses manières, puis je fais bouillir le liquide pendant deux à trois minutes. Le liquide reste intact. Je croyais d'abord qu'il fallait placer le ballon dans un lieu tranquille, où l'air ne serait pas agité du tout. C'est inutile. Tout se passe à l'entrée. L'air intérieur fait coussin. Les mouvements ne s'y propagent pas, ou avec tant de lenteur que les poussières entraînées ont le temps de tomber et de s'arrêter en route.

Vient-on, au contraire, à donner un trait de lime au col et à le détacher, au bout de un à deux jours les productions commencent à se montrer.

Vient-on même à donner au liquide des secousses violentes, de manière à déterminer des mouvements brusques de l'air, on peut être sûr de provoquer la naissance des moisissures ou des infusoires.

L'ensemble de ces résultats montre, ce me semble, avec la dernière évidence que toutes les productions des infusions qui ont été chauffées sont dues exclusivement aux poussières qui sont en suspension dans l'air; que toute idée de principes mystérieux, fluides, gaz connus ou inconnus, ozone... doit être écartée.

Il n'y a quoi que ce soit dans l'air, hormis les particules solides qu'il charrie, qui soit une condition de la vie dans les infusions.

Ce résultat est certain. Tout le progrès de mon travail est là. Ne l'exagérons pas, ne le restreignons pas. Soit une infusion organique qui a subi l'ébullition. Exposée à l'air, elle s'altère, elle montre en très peu de jours des cryptogames et des infusoires. Eh bien, il est prouvé par mes expériences que son altération est uniquement due à la chute des particules solides que l'air charrie toujours. Rien, rien autre n'est la cause de la vie dans les infusions *qui ont été portées à l'ébullition*. En outre, je recueille ces particules et je vous les montre au microscope formées de débris amorphes associés à des corpuscules organisés qui ressemblent complètement à des œufs d'infusoires ou à des spores de cryptogames.

Voulez-vous, vous, partisans de la génération spontanée, soutenir encore vos principes en présence de ces faits? vous le pouvez. Mais il faudra que vous disiez que vous préférez placer l'origine des productions organisées dans les débris amorphes, la suie, le carbonate de chaux, la silice, les brins de laine.... plutôt que dans les corpuscules, qui ressemblent tant aux germes de ces mêmes productions. L'inconséquence d'un pareil raisonnement ressort d'elle-même. C'est le progrès de mes expériences d'y avoir acculé les partisans de la doctrine de la génération spontanée, qui jusque-là pouvaient invoquer l'existence possible dans l'atmosphère de je ne sais quel principe mystérieux, gaz ou fluide, capable de provoquer la naissance des générations dites spontanées.

M. Pouchet présente *comme une immense objection*, ce sont ses expressions, que dans mes ballons je ne vois pas naître de gros infusoires ciliés, des kolpodes, des vorticelles.... Mais je vois naître dans mes ballons ce que j'y vois naître quand je les expose librement au contact de l'air pendant quelques jours.

Si M. Pouchet venait me dire : voici une infusion qui a subi l'ébullition et qui, dans l'espace de deux ou trois jours, va fournir, à l'air libre, des gros infusoires ciliés; et que je ne pusse pas les faire naître dans mes ballons, sous l'influence de l'ensemencement des poussières en suspension dans l'air, ce serait là une grave objection. Mais je ne connais rien de pareil et je vois toujours le liquide de mes ballons s'altérer comme il s'altère à l'air. Ce sont tout à fait des productions de même ordre.

Ce qui trompe ici M. Pouchet, c'est la différence bien réelle qui existe entre les infusions qui ont été portées à l'ébullition et celles qui n'ont pas été chauffées, sous le rapport du nombre et de la variété des infusoires. Il est certain, par exemple, que si l'on fait une infusion de foin à froid, elle offrira quelques jours après des infusoires bien plus variés, de bien plus grande dimension, que la même infusion préparée à la température de l'ébullition. Je ne saurais dire exactement la cause de cette différence. Doit-elle être attribuée à des germes que le foin brut, que le poivre brut.... renfermeraient, et que l'ébullition ferait périr, ou bien à la nature et à la qualité des substances des organes des êtres vivants, lesquelles jouissent de propriétés spéciales que la chaleur modifie profondément? Je l'ignore; c'est à rechercher.

Que dans un ballon librement exposé à l'air on voie apparaître, au bout de quelques semaines, de gros infusoires qui ne se montreraient pas dans mes ballons après quelques jours, je ne trouverais à cela rien que de très naturel. En effet, tout le monde sait que

les premiers infusoires des infusions sont toujours les plus petits; jamais la vie ne débute par de gros infusoires. Or ces petits infusoires altèrent l'air promptement, lorsque l'air est en quantité limitée dans un ballon fermé. Les gros infusoires ne peuvent donc se montrer. Lorsqu'ils pourraient apparaître, il n'y a plus d'air pour les faire vivre.

Voulez-vous savoir avec quelle rapidité l'oxygène peut disparaître dans un de nos ballons, sous l'influence de la vie des petits infusoires?

Le 2 juillet 1860, j'ai vu apparaître de petits bacteriums dans un ballon de 250 centimètres cubes, renfermant 80 centimètres cubes de liquide. Le 4 juillet, j'ai analysé l'air du ballon. Il renfermait :

Oxygène	4,3
Acide carbonique	11,3
Azote par différence	84,4
	100,0.

Quoi qu'il en soit, je le reconnais, l'origine des gros infusoires est une question à examiner, qui exige des recherches particulières. Mais ne confondons pas des difficultés, qu'un travail approprié résoudra facilement, avec des impossibilités, des objections radicales pouvant renverser toute une théorie.

Il y a dans le sujet une véritable objection, grave, sérieuse, capitale, à laquelle j'ai hâte d'arriver. Partisans et adversaires des générations spontanées, tout le monde admet que la plus petite quantité d'air commun mise au contact d'une infusion quelconque y détermine en peu de temps la naissance des mucédinées et des infusoires propres à cette infusion.

Cette manière de voir a toujours eu pour appui, au moins indirect, l'habitude prise, et jugée indispensable par les observateurs, d'éloigner avec des précautions infinies, dans leurs expériences, l'accès de l'air ordinaire.

Dès lors les partisans des générations spontanées s'empressent de faire remarquer que si la plus minime portion d'air ordinaire développe des organismes dans une infusion bouillie quelconque, il faut de toute nécessité, au cas où ces organismes ne sont pas spontanés, que dans cette portion si petite d'air commun il y ait les germes d'une multitude de productions diverses; et qu'enfin, si les choses sont telles, l'air ordinaire doit être encombré de matière organique. Elle y formerait un épais brouillard.

Voilà la grande objection des partisans de la génération spontanée, appuyée, comme on le voit, sur une assertion proclamée vraie par les deux partis, assertion qui peut en quelque sorte se résumer ainsi :

Dans l'atmosphère il y a continuité de la cause des générations dites spontanées.

Il est assez curieux de rechercher quelle est la source de cette assertion généralement admise. Si vous voulez des preuves directes, vous n'en trouverez pas. Ce sont de ces notions que l'on rencontre partout, partout regardées comme des principes bien établis, mais dont les preuves ne sont nulle part. Je crois que celle-ci a eu pour origine ce fameux mémoire de Gay-Lussac sur les conserves d'Appert, dont j'ai déjà parlé. C'est dans ce mémoire, remarquez-le bien, que Gay-Lussac, trouvant qu'il n'y a plus d'oxygène dans l'air des conserves, affirme que l'absence de l'oxygène est nécessaire pour l'inaltérabilité des conserves; c'est dans ce mémoire qu'il conserve du lait pendant deux mois en le faisant bouillir quelques instants chaque jour, pour chasser, dit-il, l'air dissous ; c'est dans ce mémoire enfin que vous trouvez cette expérience classique sur le moût de raisin qui entre en fermentation après qu'il a été mis au contact de quelques bulles d'oxygène, bulles infiniment petites, a-t-on dit et répété. En confondant toutes ces choses, faits et interprétations, un peu comme elles l'étaient dans le mémoire de Gay-Lussac, on en est venu à affirmer que la plus petite quantité d'air commun suffisait pour provoquer la fermentation et pour altérer les conserves d'Appert. Et de là, comme je l'ai dit, l'objection très judicieuse faite par les partisans de la doctrine de l'hétérogénie.

Mais nous allons reconnaître que l'assertion dont il s'agit est une grosse exagération, et que, comme on devait s'y attendre dans l'hypothèse de la dissémination des germes, il n'y a pas du tout dans l'atmosphère continuité de la cause des générations dites spontanées.

Les expériences suivantes me paraissent aussi simples que démonstratives.

Dans un ballon de 250 centimètres cubes environ je place 80 à 100 centimètres cubes d'une liqueur putrescible, par exemple de l'eau de levûre de bière. J'effile le col du ballon, puis je fais bouillir la liqueur pendant deux à trois minutes, et je ferme la pointe effilée à la lampe pendant l'ébullition, de manière à pratiquer un vide dans le ballon par le refroidissement. Si dans un tel ballon on fait arriver de l'air calciné, il ne provoque aucune altération.

Cela posé, ouvrons ce ballon dans un lieu déterminé. L'air s'y précipitera avec force, emportant avec lui toutes ses particules en suspension. Refermons alors la pointe à la lampe et abandonnons le ballon à lui-même. S'il n'y a pas d'altération du liquide, c'est évidemment que le volume d'air introduit ne renfermait rien qui pût amener l'altération de la liqueur. Et si l'on répète plusieurs fois l'expérience, on saisira en

quelque sorte dans leur variété les germes disséminés dans le lieu où l'on aura fait les prises d'air.

Or on s'assure facilement, à l'aide de pareils essais, que l'on peut toujours prélever dans un lieu quelconque un volume notable d'air ordinaire, n'ayant subi aucune sorte de modification physique ou chimique, tout à fait impropre à déterminer des productions organisées quelconques dans un liquide éminemment putrescible.

On reconnaît également, en choisissant les époques pour un même lieu, ou des localités diverses à une même époque, que l'on peut à volonté augmenter ou diminuer le nombre des ballons qui s'altèrent. Que l'on ouvre, par exemple, deux séries de ballons, l'une dans la cour de l'Observatoire de Paris, l'autre dans les caves de cet établissement, dans la zone de température invariable où l'air est très calme, il y aura toujours beaucoup plus de ballons qui resteront intacts parmi ceux qui auront été remplis dans les caves; et tout annonce que la totalité des ballons resterait sans altération si l'opérateur ne transportait avec lui des poussières et, par suite, des germes.

Voici des ballons qui ont été ouverts au mois de septembre 1860 sur la Mer de Glace, au Montanvert, à 2000 mètres de hauteur. Sur vingt ballons, un seul a donné une production.

A la même époque j'ai ouvert sur le Jura, à 850 mètres d'élévation, vingt autres ballons pareils; cinq ont donné des productions organisées, et huit sur vingt en ont fourni dans la campagne, loin de toute habitation, au pied du premier plateau du Jura.

Il faudrait sans doute multiplier beaucoup ces essais. Mais enfin il est arrivé dans ces études préliminaires que la diminution des germes en suspension dans l'air a été en correspondance évidente avec la hauteur plus ou moins grande à laquelle on avait opéré.

Il en doit être ainsi. Ne voyons-nous pas, lorsqu'un nuage de poussière se forme, ce nuage avoir des limites peu éloignées. Sans doute, une partie des corpuscules va plus haut, mais le nombre de ceux qui dépassent les limites visibles doit singulièrement diminuer avec la hauteur.

J'ai la conviction que des prises d'air faites à quelques mille mètres, avec un aérostat, établiraient que l'air est à ces hauteurs d'une pureté parfaite. Seulement il faudrait de grandes précautions pour éloigner les poussières des vêtements de l'opérateur ou des objets qu'il emporte avec lui.

Vous voyez, messieurs, par les expériences que je viens de mettre sous vos yeux, toute l'exagération de cette assertion que la plus petite quantité d'air commun suffit pour déterminer dans une infusion la nais-

sance des infusoires et des cryptogames propres à cette infusion. Ainsi dans ces expériences au Montanvert j'ai mis plusieurs litres d'air en contact avec la liqueur putrescible, et ce volume d'air relativement considérable n'a pas plus agi que de l'air qui aurait été calciné.

Mais, direz-vous, l'expérience de Gay-Lussac sur les grains de raisin, comment l'expliquer? Pourquoi réussit-elle? Il y a beaucoup à dire sur cette expérience. Elle me préoccupe depuis longtemps à divers points de vue, et j'espère me rendre tout à fait maître de l'explication qu'elle doit recevoir. Dès à présent nous pouvons remarquer la différence qui existe entre cette expérience et des essais de la nature de ceux que je viens de rapporter.

Dans l'expérience de Gay-Lussac les vases et les liquides n'ont pas été chauffés préalablement. L'éprouvette dont on se sert est toujours plus ou moins couverte de poussières, les grains de raisin également, le mercure lui-même en est chargé. La bulle d'oxygène que l'on introduit rencontre donc des germes de toutes sortes, et, comme l'une des productions qui se forment le plus facilement dans du moût de raisin est la levûre de bière, on comprend que ce soit le germe de la levûre de bière qui se développe de préférence, et de là la fermentation.

C'est ici le lieu de parler des inconvénients de l'emploi de la cuve à mercure dans les expériences relatives aux générations dites spontanées. Dans mes premiers essais d'ensemencement des poussières, qui sont en suspension dans l'air, dans des liqueurs putrescibles, en présence de l'air calciné, j'opérai sur la cuve à mercure. Or toutes mes expériences *à blanc* réussissaient aussi bien que les autres. C'est qu'il est impossible de manipuler sur le mercure sans introduire dans les vases une partie des poussières qui sont à la surface du mercure ou sur les parois de la cuve, et jusque dans la masse même du liquide. Du jour où le mercure est sorti de la mine il est exposé aux poussières qui sont en suspension dans l'air et qui tombent à sa surface. Avez-vous jamais remarqué comment les choses se passent lorsque l'on enfonce dans le mercure un objet quelconque, par exemple un tube de verre, et qu'il y a à la surface du mercure une couche de poussière? Les poussières de la surface viennent se loger dans la gaine comprise entre le mercure et le tube, et elles y viennent d'une distance d'un décimètre si on enfonce le tube d'un décimètre. De sorte que quand vous faites passer dans un ballon préparé avec beaucoup de soin, rempli d'un liquide qui a subi l'ébullition, un tube de verre dans certaines conditions, si vous croyez être à l'abri des germes étrangers, vous vous trompez, vous en introduisez un très grand nombre.

Mais dans l'intérieur même du mercure il y en a toujours. Il n'y a

pas de liquide plus propre à les cacher et à les retenir. Voici une expérience facile à répéter. On prend un ballon contenant un liquide organique qui a bouilli et vide d'air. On brise sa pointe au fond de la cuve. Le mercure rentre dans le ballon; on y fait arriver alors de l'air calciné ou de l'air artificiel. Eh bien, j'ai toujours vu, au bout de peu de jours, des moisissures apparaître dans le liquide. Il est évident que c'est le mercure qui en avait apporté les germes.

Or c'est précisément là une des expériences de même ordre que celles que M. Pouchet avait produites lorsqu'il a soulevé de nouveau le débat sur la question des générations spontanées. Il renversait sur le mercure un ballon plein d'eau bouillante, y faisait passer un peu de foin qui avait été chauffé, puis de l'air calciné ou de l'air artificiel. Il avait des productions. C'est que le foin, lui dit-on, n'a pas été assez chauffé. Alors il le chauffa jusqu'à le carboniser. Il eut le même résultat. C'est, lui dit-on, que vous laissez rentrer de l'air ordinaire. Non. Là n'étaient pas les causes d'erreur. C'est le mercure qui apportait les germes, à son insu, et à l'insu de tout le monde. Supprimez en effet la cuve à mercure, et toutes les expériences prennent une netteté parfaite. Celles qui doivent réussir réussissent. Celles qui doivent échouer échouent. Il n'y a jamais d'exceptions, d'accidents quelconques, d'incertitudes d'aucune sorte.

Je m'aperçois, messieurs, que je me laisse trop aller au plaisir de répondre à l'intérêt que vous paraissez prendre à ces études. Le temps me presse, et j'avais encore plusieurs séries d'expériences à mettre sous vos yeux. J'aurais désiré vous parler de mes expériences sur le lait et en général sur les liquides légèrement alcalins. Vous auriez vu que dans ce cas une ébullition à 100° de deux à trois minutes ne suffit pas pour tuer les germes des infusoires-vibrions, ce qui fait que ces liquides se putréfient même en présence de l'air calciné. Mais il suffit d'élever de quelques degrés seulement la température de l'ébullition, pour que ces liquides se conservent intacts comme tous les autres en présence de l'air qui a été chauffé.

J'aurais désiré également vous parler des expériences de production d'infusoires et de cryptogames dans des liquides formés de principes en quelque sorte purement minéraux, tels que le sucre candi, les phosphates et les sels d'ammoniaque. Les théories sur l'origine des générations spontanées ne sont plus applicables ici. On ne peut plus invoquer *les forces génésiques* des matières albuminoïdes qui ont eu vie, puisque ces matières albuminoïdes sont supprimées.

Quoi qu'il en soit, messieurs, n'exagérons rien. Dans des sujets aussi délicats, sachons nous arrêter là où s'arrête l'expérience. Mon

travail ne s'applique qu'à des infusions qui ont subi préalablement la température de l'ébullition. En ce qui concerne de semblables infusions, je regarde comme rigoureusement démontré par mes expériences que tous les infusoires et toutes les cryptogames qui s'y développent proviennent de germes qui sont en suspension dans l'air. Qu'un partisan de la doctrine des générations spontanées fasse telle supposition qu'il voudra au sujet des infusions qui n'ont pas été bouillies, je ne le suivrai pas, parce que je n'aurais plus l'expérience pour guide. Je suis, en outre, le premier à reconnaître que dans le sujet qui nous occupe il y a encore nombre de problèmes à résoudre, et, pour n'en citer que quelques-uns : Quelle est l'origine des gros infusoires? D'où vient la différence que l'on remarque entre les infusions qui ont été bouillies et celles qui ne l'ont pas été, sous le rapport de la variété des productions organisées, notamment des gros infusoires? Qu'arriverait-il si l'on plaçait au contact de l'air calciné les liquides bruts de l'économie, non chauffés préalablement, tels que l'urine, le lait, le sang? [1]

Ces questions méritent toute l'attention des naturalistes.

A côté d'elles, combien d'autres sujets d'études pleins d'intérêt soulève le mode de vie de ces petits êtres réunis sous l'expression de générations spontanées ! Je suis au milieu d'eux depuis plusieurs années, et il me semble que ma vie serait trop courte si je voulais aborder toutes les questions qui se pressent devant moi.

Aussi combien je m'étonne quand je vois l'histoire naturelle ne pas tendre la main à l'expérience, ne pas s'efforcer de transporter chez elle les vrais principes de la méthode expérimentale, qui a renouvelé dans l'espace de soixante à quatre-vingts ans les sciences physiques et chimiques, et par elles transformé pour ainsi dire toutes les conditions matérielles des sociétés modernes!

J'ai la persuasion que l'on ferait passer dans toutes les branches de l'histoire naturelle une sève nouvelle en y introduisant l'expérience, l'expérience vraie, celle qui mérite ce nom, l'expérience à la hauteur de l'état présent des sciences physiques et chimiques.

Plus j'avance dans ces études des êtres inférieurs, plus je suis frappé de l'insuffisance de la description pour arriver à la connaissance, je ne dirai pas seulement de leurs propriétés physiologiques et de leur rôle dans l'économie de la nature, — ceci pourra paraître évident, mais bien plus, de leur place dans les classifications et même de la dénomination qu'il faut leur attribuer.

1. *Voir* p. 170 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

RECTIFICATION[1] D'UN PASSAGE D'UNE NOTE PRÉSENTÉE A L'ACADÉMIE PAR MM. JOLY ET MUSSET[2]

Je lis, dans une Note présentée lundi dernier à l'Académie par MM. Joly et Musset, que j'admettais autrefois l'origine spontanée de la levûre de bière, et que j'ai même proclamé cette opinion, en termes très explicites, dans mon Mémoire sur la fermentation alcoolique.

M. Pouchet m'a déjà adressé un pareil reproche de contradiction avec moi-même.

Je suis bien surpris, je l'avoue, de ces assertions de mes savants antagonistes. Non, pas plus autrefois qu'aujourd'hui, je n'ai admis la génération spontanée de la levûre de bière, dans le sens propre du mot. Mais il m'est arrivé, comme à tout le monde, de dire que la levûre se forme spontanément dans le jus de raisin, dans le moût de bière..., lorsque ces liquides sont exposés au contact de l'air ordinaire, voulant par là exprimer le fait brut de l'apparition d'une plante dans un milieu où la plante n'avait pas été semée directement. N'arrive-t-il pas, de même, tous les jours aux naturalistes de dire que telle plante croît spontanément dans telle contrée, et quelqu'un se méprend-il, pour autant, sur l'opinion que ces naturalistes professent à l'égard de la véritable origine de cette plante?

D'ailleurs on va juger du soin avec lequel j'ai cherché à éviter toute confusion de langage. Voici, en effet, la phrase du Mémoire où j'ai employé, pour la première fois, le mot *spontané* en parlant de la levûre de bière :

« Enfin, il y a une dernière analogie que je ne dois pas omettre; c'est qu'il n'est pas nécessaire d'avoir déjà de la levûre lactique pour en préparer : elle prend naissance *spontanément*, avec autant de facilité

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 2 septembre 1861, LIII, p. 403-404

2. Joly et Musset. Recherches sur l'origine, la germination et la fructification de la levûre de bière (*torula cerevisiae*, Turpin). *Ibid.*, séance du 26 août 1861, LIII, p. 368-371. (*Notes de l'Édition.*)

que la levûre de bière, toutes les fois que les conditions sont favorables. » Et puis, j'ajoute aussitôt en note : « Je me sers de ce mot, *spontanément*, comme expression du fait, en réservant complètement la question de la génération spontanée. » [*Annales de chimie et de physique*, 3e série, LII, 1858, p. 413] [1].

En lisant ce passage si explicite, MM. Pouchet, Joly et Musset regretteront, je n'en doute pas, l'interprétation très erronée qu'ils ont donnée à ma pensée.

Quant à leurs autres opinions au sujet de la levûre de bière, j'espère publier bientôt des observations qui les éclaireront, si je ne me trompe, sur la cause de leurs erreurs et de celles des botanistes qui les ont précédés.

1. *Voir* p. 9 du présent volume (*Note de l'Édition*).

EXAMEN DU RÔLE ATTRIBUÉ AU GAZ OXYGÈNE ATMOSPHÉRIQUE DANS LA DESTRUCTION DES MATIÈRES ANIMALES ET VÉGÉTALES APRÈS LA MORT [1]

Cette communication a été reproduite p. 165-171 du présent volume. Pasteur annonce, à la fin de cette communication, qu'il a réussi « à exposer au contact de l'air, privé de ses germes, des liquides frais, putrescibles à un très haut degré », le sang et l'urine. Ces expériences « portent, dit Pasteur, un dernier coup à la doctrine des générations spontanées, aussi bien qu'à la théorie moderne des ferments ». (*Note de l'Édition.*)

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 20 avril 1863, LVI, p. 734-740.

DISCUSSION AVEC MM. POUCHET, JOLY ET MUSSET

NOTE (1) EN RÉPONSE A DES OBSERVATIONS CRITIQUES PRÉSENTÉES A L'ACADÉMIE PAR MM. POUCHET, JOLY ET MUSSET, DANS LA SÉANCE DU 21 SEPTEMBRE DERNIER (2)

Dans mon Mémoire sur la doctrine des générations spontanées (3), j'affirme « qu'il est toujours possible de prélever, en un lieu déterminé, un volume notable, mais limité, d'air ordinaire n'ayant subi aucune espèce de modification physique ou chimique, et tout à fait impropre néanmoins à provoquer une altération quelconque dans une liqueur éminemment putrescible ».

Je croyais avoir donné de cette assertion une démonstration en quelque sorte mathématique. Je trouve cependant aux *Comptes rendus* de la séance du 21 septembre dernier une relation d'expériences exécutées dans l'intérieur [des glaciers] de la Maladetta (Pyrénées d'Espagne), par MM. Pouchet, Joly et Musset, qui réfute, au dire de mes persévérants contradicteurs, l'opinion que je viens de rappeler.

Ces expériences sont de tout point pareilles à celles que j'ai exécutées moi-même sur la Mer de Glace, sur le Jura, et au pied du premier plateau du Jura, au mois de septembre 1860.

Je me félicite que ces habiles naturalistes aient pris la peine d'aller faire à la Rencluse et à la Maladetta ce que j'avais fait au mont Blanc et sur un des plateaux du Jura, et qu'à mon exemple, comme ils le disent expressément, ils aient éloigné leurs guides, l'influence de leurs vêtements autant que possible, élevé les ballons au-dessus de leurs

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 2 novembre 1863, LVII, p. 724-726.

2. Pouchet, Joly et Musset. Expériences sur l'hétérogénie exécutées dans l'intérieur des glaciers de la Maladetta (Pyrénées d'Espagne). *Ibid.*, séance du 21 septembre 1863, LVII, p. 558-561.

3. Pasteur. Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées. *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., LXIV, 1862, p. 5-110, et p. 210-294 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

têtes, et chauffé la pointe avant de la briser. Tout ceci est extrait de la Note à laquelle je réponds. Cependant j'ai regretté que ces messieurs aient brisé la pointe des ballons à l'aide d'une lime chauffée préalablement, au lieu d'une pince. Dans ce détail important ils se sont séparés de ma manière d'opérer. Mon Mémoire dit que j'ai brisé la pointe effilée des ballons « à l'aide d'une pince de fer dont les longues branches venaient d'être passées dans la flamme, afin de brûler les poussières qui pourraient se trouver à leur surface et qui ne manqueraient pas d'être chassées en partie dans le ballon par la rentrée brusque de l'air ». Pour que la lime fasse l'office de la pince dont je parle, il faut de toute nécessité que la lime seule touche et brise la pointe du ballon, que le pouce et la main n'interviennent qu'à distance parce que la main, elle, ne peut évidemment être chauffée préalablement comme la lime ou la pince [1].

Quoi qu'il en soit, on voit bien qu'à tout prendre mes savants adversaires ont apporté des soins particuliers dans leurs essais, et qu'ils ont été guidés par le ferme désir de répéter minutieusement mes expériences.

Mais ce qu'ils ont omis d'appliquer, et ce n'est pas devant l'Académie des sciences qu'il sera utile de faire remarquer l'énormité de la lacune, c'est la méthode même que j'ai mise en pratique.

Et, en effet, MM. Pouchet, Joly et Musset ont ouvert quatre ballons à la Rencluse et quatre à la Maladetta. Or, j'en avais ouvert vingt à la Mer de Glace, vingt sur le Jura, vingt au pied du Jura, ainsi que mon Mémoire en témoigne; et, s'il n'y avait pas eu une grande difficulté à transporter une multitude de ballons vides d'air, à pointe effilée, depuis Paris jusque dans ces trois localités, j'en aurais ouvert cinquante ou cent à chacune des stations.

Qui ne voit, en effet, que toute la méthode est là? Que voulais-je démontrer? Entre autres choses, que dans l'air atmosphérique d'une localité quelconque, ici il y a des germes, à côté il n'y en a pas, plus loin il y en a encore; qu'il n'y a donc pas dans l'atmosphère continuité de la cause des générations dites *spontanées*, et qu'enfin c'est une opinion entièrement erronée que la plus petite quantité d'air commun

1. J'ai regretté également de trouver, dans la Note de MM. Pouchet, Joly et Musset, l'indication suivante : « Nous prîmes le soin d'agiter les ballons de manière à rendre mousseuse la décoction de foin qui s'y trouvait contenue. Puis ces matras furent immédiatement refermés à la lampe. »

C'est bien faire que d'agiter, quoique, pendant le retour, les ballons soient assez secoués. Mais il faudrait agiter après avoir fermé les ballons, parce que les agitations brusques opèrent des déplacements et des rentrées d'air qui, s'ils se font à petite distance des mains et des vêtements des opérateurs, peuvent donner lieu à des causes d'erreurs dont j'ai pu apprécier l'influence non douteuse.

soit capable de déterminer dans des infusions le développement de toutes sortes de mucédinées et d'infusoires. Pour établir ces faits, si durs à la doctrine des générations spontanées, et qui viennent de conduire ses partisans à la Maladetta dans le vain espoir de les réfuter, ma méthode consiste à prélever dans une localité quelconque un certain nombre de volumes d'air et à en étudier l'action sur des infusions. Mais une conclusion de quelque valeur n'est possible qu'à la condition de répéter l'expérience un assez grand nombre de fois pour que le hasard n'amène pas des résultats, soit tous négatifs, soit tous positifs. J'ai ouvert vingt ballons sur le Jura, et cinq m'ont présenté des productions organisées. Supposons que j'aie commis la faute de MM. Pouchet, Joly et Musset, de n'en ouvrir que quatre, j'aurais pu tomber sur quatre de ces cinq ballons qui m'ont offert des productions, et conséquemment être porté à penser que l'air sur le Jura est toujours fécond, tandis qu'ayant eu quinze ballons qui n'ont rien donné d'organisé, et cinq avec moisissures ou infusoires, j'ai pu dire avec une certitude ne laissant pas la moindre place au doute : « que l'on peut prélever sur le Jura des volumes notables, mais limités d'air n'ayant subi aucune espèce de modification physique ou chimique, et tout à fait impropre néanmoins à provoquer une altération quelconque dans une liqueur éminemment putrescible ».

Le lecteur attentif verra que je ne profite même pas dans cette discussion de l'avantage que me donnent mes contradicteurs, en ne parlant de mucédinées et d'infusoires que pour quatre de leurs ballons sur huit, circonstance qui établit que les résultats que l'on m'oppose confirment les miens. Tant que MM. Pouchet, Joly et Musset ne pourront pas affirmer *qu'en ouvrant dans une localité quelconque un grand nombre de matras, préparés exactement selon les prescriptions de mon Mémoire, il n'y en a pas qui se conservent intacts, et que tous s'altèrent*, ils ne feront que confirmer l'exactitude parfaite de l'assertion de mon Mémoire qu'ils prétendent réfuter. Or, je mets au défi que l'on produise un pareil résultat.

En résumé, voilà un exemple nouveau à ajouter à tant d'autres dans la liste des causes des erreurs scientifiques, où nous voyons que, tout en s'efforçant de reproduire et de critiquer les expériences d'un auteur, on peut ne pas comprendre du tout sa méthode d'expérimentation et croire même qu'on le réfute quand on ne fait que confirmer les principes qu'il a établis.

REMARQUES (1) [A L'OCCASION D'UNE RÉPONSE DE MM. JOLY ET MUSSET A LA NOTE PRÉCÉDENTE] (2)

M. Pasteur remarque, à l'occasion de la récrimination de MM. Joly et Musset, que l'erreur qu'il a commise était presque inévitable; en ne parlant, en effet, de mucédinées et d'infusoires que pour quatre des huit ballons ouverts par eux, MM. Pouchet, Joly et Musset semblaient indiquer que les quatre autres n'en contenaient point. Cependant, pour plus de sûreté, M. Pasteur a voulu se renseigner près de M. Pouchet lui-même; mais ce savant lui ayant fait savoir qu'il ne pourrait donner une réponse définitive qu'après s'être entendu avec ses collaborateurs, on n'a pas cru devoir différer davantage une communication attendue par plusieurs Membres de l'Académie.

M. Pasteur donne ensuite de vive voix quelques renseignements sur les résultats d'une expérience qu'il a faite tout récemment dans une des salles même de l'Institut à la demande de M. Fremy, résultats qui confirment encore les conclusions qu'il avait tirées de ses expériences précédentes.

NOTE SUR LES GÉNÉRATIONS SPONTANÉES (3)

Dans le Mémoire que j'ai publié au sujet de la doctrine des générations dites spontanées, j'ai annoncé, sur la foi de nombreuses expériences, « qu'il est toujours possible de prélever, en un lieu déterminé, un volume notable, mais limité, d'air ordinaire n'ayant subi aucune modification physique ou chimique, et tout à fait impropre

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 16 novembre 1863, LVII, p. 846.

2. Réponse de MM. N. Joly et Ch. Musset aux observations critiques de M. Pasteur, relatives aux expériences exécutées par eux dans les glaciers de la Maladetta. *Ibid.*, p. 842-845. « ... Bien que nous ayons dit ou voulu dire précisément tout le contraire, l'habile chimiste [Pasteur] a cru pouvoir affirmer que des huit ballons ouverts par nous sur les hautes cimes des Pyrénées, quatre seulement s'étaient montrés féconds. » (*Note de l'Édition.*)

3. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 4 janvier 1864, LVIII, p. 21-22.

néanmoins à provoquer une altération quelconque dans une liqueur éminemment putrescible ».

MM. Pouchet et Joly affirment que ce résultat est erroné (1).

Je leur ai porté le défi d'en donner la preuve expérimentale (2).

Ce défi a été accepté par MM. Joly et Musset dans les termes suivants : « *Si un seul de nos matras demeure inaltéré, nous avouerons loyalement notre défaite.* » (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 16 novembre 1863, LVII, p. 845.)

M. Pouchet, de son côté, a accepté le défi dans ces termes : « *J'atteste que sur quelque lieu du globe où je prendrai un décimètre cube d'air, dès que je mettrai celui-ci en contact avec une liqueur putrescible renfermée dans des matras hermétiquement clos, constamment ceux-ci se rempliront d'organismes vivants.* » (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 30 novembre 1863, LVII, p. 902-903.)

Voilà un débat nettement défini.

Quels en seront les juges? En ce qui me concerne, je ferais injure à l'Académie d'en accepter d'autres qu'elle-même. Telle est aussi, fort heureusement, l'opinion de mes honorables adversaires, comme on peut le voir au numéro des *Comptes rendus* du 16 novembre dernier, LVII, p. 845.

« Il y aurait un moyen bien simple, ont-ils écrit à l'Académie, de terminer ce débat : ce serait que l'Académie voulût bien nommer une Commission devant laquelle M. Pasteur et nous répéterions les principales expériences sur lesquelles s'appuient de part et d'autre des conclusions contradictoires. Nous serions heureux de voir l'illustre Compagnie prendre en sérieuse considération le vœu que nous osons formuler devant elle. »

En résumé, j'ai porté un défi à MM. Pouchet, Joly et Musset. Mes savants antagonistes ne le déclinent pas. La compétence des juges est incontestable et incontestée. Je prie donc l'Académie de vouloir bien nommer une Commission (3).

1. Pouchet, Joly et Musset. Expériences sur l'hétérogénie exécutées dans l'intérieur des glaciers de la Maladetta (Pyrénées d'Espagne). *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LVII, 1863, p. 558-561.

2. Pasteur. *Ibid.*, p. 724-726, et p. 321-323 du présent volume.

3. « Conformément à la demande de MM. Pouchet, Joly et Musset [*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LVII, 1863, p. 845], et à l'acceptation de M. Pasteur, l'Académie charge une Commission, composée de MM. Flourens, Dumas, Brongniart, Milne Edwards et Balard, de faire répéter, en sa présence, les expériences dont les résultats sont invoqués comme favorables ou comme contraires à la doctrine des générations spontanées. » (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 4 janvier 1864, LVIII, p. 22). *Voir* la suite p. 326 et 327 et Document VI à la fin du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

NOTE (1) SUR UNE FAUSSE ALLÉGATION D'UN OUVRAGE RÉCENT DE M. POUCHET

Cet ouvrage a pour titre : *Nouvelles expériences sur la génération spontanée, etc.*, Paris, 1864.

En l'ouvrant à la page XIII de la préface, j'y trouve cette phrase : « Nous avons vu, à diverses reprises, M. Pasteur présenter ses ballons comme *l'ultimatum* de la science, appelés par leurs résultats « *à étonner le monde.* » Ce sont ses expressions.

Les mots, *étonner le monde*, sont en outre soulignés et entre guillemets.

Cette assertion est fausse. Je proteste que jamais je n'ai prononcé ni écrit ces ridicules paroles, et j'attends de la loyauté de M. Pouchet une rectification publique.

NOTE (2) [EN RÉPONSE A UNE LETTRE DE M. POUCHET, EN DATE DU 17 JANVIER 1864] (3)

M. Pouchet se fait illusion. Il ne s'agit pas de savoir si j'ai eu tort ou raison de porter devant l'Académie un incident du débat relatif à la question des générations dites *spontanées*. Le jugement sur ce point appartient à l'Académie.

M. Pouchet a-t-il été autorisé à écrire la fausse allégation que j'ai

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 4 janvier 1864, LVIII, p. 22.

2. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 25 janvier 1864, LVIII, p. 192.

3. M. Pouchet, à l'occasion de la réclamation précédente de Pasteur, avait adressé, le 17 janvier 1864, une lettre à M. Flourens, de l'Académie des sciences, où il disait : « ... Comme le fait dont il est question est absolument personnel, il me semble qu'il n'y a nullement lieu de le porter à l'ordre du jour dans le sein de l'Académie... Si le savant professeur de l'École normale tient à une rectification, je la lui donnerai, qu'il s'adresse à moi... » *Ibid.*, p. 191-192. (*Note de l'Édition.*)

reproduite (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LVIII, 1864, p. 22), et que j'ai extraite textuellement de la page XIII de la préface de l'ouvrage qu'il vient de publier sous ce titre : *Nouvelles expériences*, etc., Paris, Victor Masson, 1864?

Voilà la question.

Je proteste de nouveau que je n'ai jamais prononcé ni écrit les expressions que M. Pouchet m'attribue d'après une citation qu'il affirme être textuelle, et je répète que j'attends de sa loyauté une rectification, non privée, mais publique, c'est-à-dire ayant la forme de publicité qu'a reçue l'allégation contre laquelle je proteste.

Seulement, comme je serais heureux d'épargner à M. Pouchet le désagrément d'une rectification, je veux bien admettre que si mon savant antagoniste n'a pas répondu ou ne répond pas à ma réclamation, c'est qu'il convient de son erreur. C'est la seule concession que je puisse faire à l'urbanité dans cette discussion.

REMARQUES (1)

[A L'OCCASION D'UNE LETTRE DE MM. POUCHET, MUSSET ET JOLY PRIANT L'ACADÉMIE D'AJOURNER JUSQU'A L'ÉTÉ PROCHAIN LES EXPÉRIENCES QU'ILS DOIVENT RÉPÉTER DEVANT ELLE] (2)

Je suis bien surpris de ce retard apporté par MM. Pouchet, Musset et Joly aux opérations de la Commission. A l'aide d'une étuve il eût été facile d'élever la température au degré désiré par ces messieurs. Quant à moi, je m'empresse de déclarer que je suis à la disposition de l'Académie, et qu'en été comme au printemps et en toute saison, je serai prêt à répéter mes expériences (3).

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 7 mars 1864, LVIII, p. 471.

2. *Ibid.*, p. 470-471. — La Commission, nommée par l'Académie dans la séance du 4 janvier, avait décidé que les expériences de MM. Pouchet, Musset et Joly sur l'hétérogénie pourraient être répétées en sa présence dans la première quinzaine de mars. « Ce serait, répondirent MM. Pouchet, Musset et Joly, compromettre nos résultats, et peut-être n'en obtenir aucun, que d'opérer par une température qui, même au printemps, est souvent de plusieurs degrés au-dessous de zéro dans le midi de la France. Qui peut donc nous assurer que, dans l'intervalle du 1er au 15 mars, il ne gèlera pas à Paris ? »

3. Les expériences furent ajournées au mois de juin. *Voir* le Rapport de la Commission : Document VI, à la fin du présent volume. « Les faits observés par M. Pasteur, conclut le Rapporteur, sont de la plus parfaite exactitude. » (*Notes de l'Édition.*)

DES GÉNÉRATIONS SPONTANÉES

Conférence faite aux " Soirées scientifiques de la Sorbonne ", le 7 avril 1864 (1).

Messieurs,

De bien grands problèmes s'agitent aujourd'hui et tiennent tous les esprits en éveil : unité ou multiplicité des races humaines; création de l'homme depuis quelques mille ans ou depuis quelques mille siècles; fixité des espèces, ou transformation lente et progressive des espèces les unes dans les autres; la matière réputée éternelle, en dehors d'elle le néant; l'idée de Dieu inutile : voilà quelques-unes des questions livrées de nos jours aux disputes des hommes.

Ne craignez pas que je vienne ici avec la prétention de résoudre l'un quelconque de ces graves sujets; mais à côté, dans le voisinage de ces mystères, il y a une question qui leur est directement ou indirectement associée, et dont je puis oser peut-être vous entretenir, parce qu'elle est accessible à l'expérience, et qu'à ce point de vue j'en ai fait l'objet d'études sévères et consciencieuses.

C'est la question des générations dites spontanées.

La matière peut-elle s'organiser d'elle-même? En d'autres termes, des êtres peuvent-ils venir au monde sans parents, sans aïeux? Voilà la question à résoudre.

Il faut bien le dire, la croyance aux générations spontanées a été une croyance de tous les âges; universellement acceptée dans l'antiquité, plus discutée dans les temps modernes, et surtout de nos jours. C'est cette croyance que je viens combattre.

Sa durée pour ainsi dire indéfinie à travers les âges m'inquiète fort

1. *Revue des cours scientifiques*, 23 avril 1864, I, 1863-1864, p. 257-265.
Sur un numéro de la *Revue des cours scientifiques*, Pasteur a fait quelques corrections de mots à la plume. C'est ce texte corrigé de la main de Pasteur que nous donnons ici. (*Note de l'Édition.*)

peu, car vous savez sans doute que les plus grandes erreurs peuvent compter par siècles leur existence; et d'ailleurs, si cette durée pouvait vous paraître un argument, il me suffirait de rappeler ici la puérilité des motifs allégués autrefois en faveur de la doctrine.

Voici, par exemple, ce qu'écrivait encore au XVIIe siècle un célèbre médecin alchimiste, Van Helmont (1) :

« L'eau de fontaine la plus pure, mise dans un vase imprégné de l'odeur d'un ferment, se moisit et engendre des vers. Les odeurs qui s'élèvent du fond des marais produisent des grenouilles, des limaces, des sangsues, des herbes... (2) Creusez un trou dans une brique, mettez-y de l'herbe de basilic pilée, appliquez une seconde brique sur la première, de façon que le trou soit parfaitement couvert, exposez les deux briques au soleil, et au bout de quelques jours, l'odeur de basilic, agissant comme ferment, changera l'herbe en véritables scorpions (3). »

Et ailleurs — et notez bien que l'expérience dont je vais parler, Van Helmont affirme l'avoir faite : ce sera dans cette leçon la première preuve qu'il est aisé de faire des expériences, mais très malaisé d'en faire d'irréprochables — :

« Si l'on comprime une chemise sale dans l'orifice d'un vaisseau contenant des grains de froment, le ferment sorti de la chemise sale, modifié par l'odeur du grain, donne lieu à la transmutation du froment en souris après vingt et un jours environ. » Et Van Helmont ajoute que les souris sont adultes; qu'il en est de mâles et de femelles, et qu'elles peuvent reproduire l'espèce en s'accouplant (4).

Voilà, messieurs, les expériences qui, au XVIIe siècle, appuyaient la doctrine de la génération spontanée.

Puisque, il y a deux siècles seulement, on pouvait écrire sur ce

1. Les œuvres de Jean-Baptiste VAN HELMONT, traduction de Jean LE CONTE. *Lyon*, 1671, in-4°. Première partie. Chap. XVI : La nécessité des ferments pour les transmutations, p. 103-109.

2. La traduction de Jean Le Conte porte : « L'eau très pure se moisit par l'odeur d'un vaisseau punais, se croûte et se corrompt jusqu'à produire des vers. Les grenouilles, les limaçons, poissons à coquilles, les sang-sues et plusieurs herbes sont produites par les odeurs moisies du fond des marêts. » (p. 105-106).

3. La traduction de Jean Le Conte porte : « L'odeur enfermée dans la semence du basilique produit l'herbe basilique, avec l'esprit qui est dedans. Si elle se moisit en quelque endroit, elle change de nature, et produit des véritables scorpions. Ce que les incrédules pourront apprendre en mettant l'herbe contuse dans un trou qu'ils auront fait au milieu d'une brique, puis qu'ils joignent exactement une autre à celle-là, et qu'ils l'exposent au soleil. » (p. 105).

4. La traduction de Jean Le Conte porte : « Si on comprime une chemise sale en la bouche d'un vaisseau, où il y ait du froment : dans une vingtaine de jours ou environ, le ferment sorti de la chemise est altéré par l'odeur des grains, transmue le bled revêtu de son écorce en souris, qui sont différentiées par une diversité de sexe, qui en après multiplient leur espèce, en habitant les unes avec les autres... » (p. 104). [*Notes de l'Édition.*]

sujet de pareilles énormités, que nous importe la durée de cette croyance à travers les âges? que nous importent les noms de ceux qui l'ont défendue de leur parole ou de leurs écrits, qu'ils s'appellent Épicure, Aristote ou Van Helmont?

Tout au contraire, si je me place au point de vue historique, je pourrai remarquer que cette doctrine a suivi le développement de toutes les idées fausses; qu'au lieu de grandir avec le temps, ce qui est le propre de la vérité, elle a toujours été s'amoindrissant et se circonscrivant sans cesse. Aujourd'hui il n'est pas un seul naturaliste qui croit à la génération spontanée d'un insecte, d'un mollusque et encore moins d'un animal vertébré.

Mais à la fin du XVIIe siècle, une immense découverte, celle du microscope, vint révéler à l'homme tout un monde nouveau, le monde des infiniment petits. A peine vaincue en ce qui concerne les êtres supérieurs, la doctrine de la génération spontanée reparut, disant avec audace : Voici mon domaine. C'est vrai, je m'étais trompée, les conditions actuelles ne sont plus celles qui conviennent aux êtres supérieurs, mais elles s'appliquent encore aux êtres microscopiques; c'est chez eux qu'il existe des générations spontanées. — Et, en effet, chose étrange, dans l'espace de quelques heures, on voyait apparaître, sur le porte-objet du nouvel et merveilleux instrument, des animalcules à l'infini, d'une simplicité d'organisation quelquefois si grande qu'elle excluait toute possibilité de génération sexuelle. Et ces êtres étaient si nombreux, si divers, si bizarres de formes, leur origine était tellement liée à la présence de toute matière animale ou végétale morte, en voie de désorganisation, qu'on en vint à cette théorie spécieuse, d'autant plus séduisante qu'elle avait à son service le style souple, brillant, imagé et très autorisé de l'illustre naturaliste Buffon :

« La matière des êtres vivants conserve après la mort un reste de vitalité. La vie réside essentiellement dans les dernières molécules des corps. Ces molécules sont arrangées comme dans un moule. Autant d'êtres, autant de moules différents, et, lorsque la mort fait cesser le jeu de l'organisation, c'est-à-dire la puissance de ce moule, la décomposition du corps suit, et les molécules organiques qui toutes survivent, se retrouvant en liberté dans la dissolution et la putréfaction des corps, passent dans d'autres corps aussitôt qu'elles sont pompées par la puissance de quelque autre moule;... seulement il arrive une infinité de générations spontanées dans cet intermède, où la puissance du moule est sans action, c'est-à-dire dans cet intervalle de temps pendant lequel les molécules organiques se trouvent en liberté dans la matière des corps morts et décomposés;... ces molécules organiques,

toujours actives, travaillent à remuer la matière putréfiée, elles s'en approprient quelques particules brutes et forment, par leur réunion, une multitude de petits corps organisés, dont les uns, comme les vers de terre, les champignons, etc., paraissent être des animaux ou des végétaux assez grands, mais dont les autres, en nombre presque infini, ne se voient qu'au microscope. Tous ces corps n'existent que par une génération spontanée, et ils remplissent l'intervalle que la nature a mis entre la simple molécule organique vivante et l'animal ou le végétal; aussi trouve-t-on tous les degrés, toutes les nuances imaginables dans cette suite, dans cette chaîne d'êtres qui descend de l'animal le mieux organisé à la molécule simplement organique... [1] »

Voilà, messieurs, pour Buffon la doctrine de la génération spontanée, ou, comme on l'appelle souvent quand il s'agit de ce grand naturaliste, LA THÉORIE DES MOLÉCULES ORGANIQUES de Buffon. Je n'irai pas plus loin sans placer sous vos yeux quelques-unes de ces générations que Buffon disait spontanées. Je ne vous montrerai cependant ni des vers de terre ni des champignons. Vous venez de l'entendre, Buffon croyait encore que ces êtres-là venaient au monde sans parents. On ne le croit plus aujourd'hui. Ce qu'il faut que je vous montre, ce sont des êtres microscopiques, parce que c'est là, dit-on, que la génération spontanée est reléguée de nos jours, là où il est plus difficile, en effet, de porter la lumière de l'expérience. Mais ayez confiance, je l'y ferai pénétrer tout à l'heure, et vous ne sortirez pas d'ici sans être convaincus que la génération spontanée des êtres microscopiques est une chimère à l'égal de la génération spontanée des vers de terre et des champignons de Buffon, à l'égal de la génération spontanée des scorpions et des souris de Van Helmont.

A ce moment, M. Pasteur fait projeter sur le tableau quelques-unes de ces petites générations dites spontanées.

Voici, en premier lieu, de toutes les productions végétales l'une des plus simples qui existent : c'est la levûre de bière.

Vous voyez qu'elle se compose de cellules renfermant quelquefois un noyau, un *nucleus*, comme disent les botanistes. Cette végétation microscopique se reproduit de la façon suivante :

Chaque cellule pousse un petit bourgeon, un petit bourrelet. Ce bourrelet grandit et, quand il a atteint les dimensions de la cellule mère, il s'en détache et il va à côté bourgeonner à son tour.

1. BUFFON. Histoire naturelle de l'homme. Supplément, tome IV. *Paris*, 1777, in-4°. Addition à l'article des Variétés dans la génération et aux articles où il est question de la génération spontanée, p. 339 (*Note de l'Édition.*)

Le n° 2 est une végétation tout à fait du même ordre. On y distingue mieux le bourgeonnement.

Le n° 3 montre comment prennent naissance toutes les moisissures. Elles ont pour graine, pour spore, c'est le terme consacré en botanique, des globules comme celui-ci. Placées dans un milieu convenable, dans une infusion de matières organiques pouvant leur fournir les éléments nutritifs dont ces graines ont besoin, elles grossissent d'abord sensiblement, puis elles s'allongent en tubes qui prennent un très grand développement. Très souvent, le plus ordinairement même, ces tubes se ramifient, et lorsque leurs extrémités arrivent au contact de l'air, que ces tubes ne sont plus dans l'intérieur du liquide, ils se couvrent de diverses façons, à leurs extrémités, de cellules pareilles à celles-ci, c'est-à-dire de graines capables de reproduire l'espèce.

Je vais placer maintenant sous vos yeux quelques animalcules.

Si l'on fait une infusion de matière organique, si l'on place, par exemple, dans de l'eau un peu de foin, certains principes du foin se dissolvent et fournissent des aliments appropriés au développement des êtres microscopiques.

Des infusoires de l'eau de foin sont projetés sur le tableau : ce sont de petites cellules qui s'agitent très vivement, qui courent, vont et viennent.

Ces petits êtres ont environ cinq millièmes de millimètre de diamètre, c'est-à-dire que, si vous divisiez un millimètre en mille parties et que vous prissiez cinq de ces parties, vous auriez le diamètre de ces globules.

Puis des anguillules sont projetées sur le tableau. Leur mouvement, analogue à celui des serpents, est très rapide, d'autant plus rapide qu'elles sont en proie aux convulsions de la mort. Elles périssent au bout de quelques instants, à cause de la haute température développée au foyer du microscope.

Telles sont, messieurs, quelques-unes des générations que Buffon disait et qu'on dit encore spontanées de nos jours.

Des controverses très animées s'élevèrent alors comme aujourd'hui entre les savants, controverses d'autant plus vives, d'autant plus passionnées, qu'elles avaient leur contre-coup dans l'opinion publique, toujours partagée, vous le savez, entre deux grands courants d'idées, aussi vieilles que le monde, et qui, de nos jours, s'appellent le matérialisme et le spiritualisme. Quelle conquête, messieurs, pour le matérialisme s'il pouvait protester qu'il s'appuie sur le fait avéré de la matière s'organisant d'elle-même, prenant vie d'elle-même; la matière,

qui a en elle déjà toutes les forces connues! La voyez-vous encore dans la première de ces Soirées, dans cette exhibition des plus beaux phénomènes de la nature? La voyez-vous encore si puissante et si faible, obéissant à merci à toutes les volontés du savant? Ah! si nous pouvions lui ajouter cette autre force qui s'appelle la vie, et la vie variable dans ses manifestations avec les conditions de nos expériences, quoi de plus naturel alors que de la déifier, cette matière? A quoi bon recourir à l'idée d'une création primordiale, devant le mystère de laquelle il faut bien s'incliner? A quoi bon l'idée d'un Dieu créateur? Écoutez plutôt, c'est un des adeptes de la doctrine qui va parler :

« Assistons à l'œuvre divine, dit un écrivain éminent : prenons une goutte d'eau dans la mer, nous y verrons recommencer la primitive création. Dieu n'opère pas de telle façon aujourd'hui et d'autre demain. Ma goutte d'eau, je n'en fais pas doute, va dans ses transformations me raconter l'univers. Attendons et observons. Qui peut prévoir, deviner l'histoire de cette goutte d'eau? Plante-animal, animal-plante, qui le premier doit en sortir? Cette goutte, sera-ce l'infusoire, la monade primitive, qui, s'agitant et vibrant, se fait bientôt vibrion; qui, montant de rang en rang, polype, corail ou perle, arrivera peut-être en dix mille ans à la dignité d'insecte?

« Cette goutte, ce qui va en venir, sera-ce le fil végétal, le léger duvet soyeux qu'on ne prendrait pas pour un être, et qui déjà n'est pas moins que le cheveu premier-né d'une jeune déesse, cheveu sensible, amoureux, dit si bien cheveu de Vénus? Ceci n'est point de la fable, c'est de l'histoire naturelle. Ce cheveu de deux natures (végétale et animale), où s'épaissit la goutte d'eau, c'est bien l'aîné de la vie...

« Ces conferves, comme on les appelle, se trouvent universellement dans l'eau douce et dans l'eau salée quand elle est tranquille. Elles commencent la double série des plantes originaires de la mer et de celles qui sont devenues terrestres quand la mer a émergé. Hors de l'eau monte la famille des innombrables champignons, dans l'eau celle des conferves, algues et autres plantes analogues (1). »

Ainsi, messieurs, la doctrine de la génération spontanée est-elle admise, et l'histoire de la création et de l'origine du monde organique n'est pas plus difficile que cela. On prend une goutte d'eau dans la mer, de cette eau (M. Michelet l'a développé dans de belles pages) qui renferme un peu de matière azotée, de mucus de la mer, de gelée féconde comme il l'appelle, et, au sein de cette matière inanimée, les

1. Michelet. La mer. *Paris*, 1861 (2e édition), in-12, p. 116-117. (*Note de l'Édition*.)

premiers êtres de la création prennent naissance spontanément, puis peu à peu ils se transforment et montent de rang en rang, par exemple en dix mille ans, à l'état d'insectes, et au bout de cent mille ans sans doute à l'état de singes et d'hommes.

Comprenez-vous maintenant le lien qui existe entre la question des générations spontanées et ces grands problèmes que j'ai énumérés en commençant? Mais, messieurs, dans un pareil sujet, assez de poésie comme cela, assez de fantaisie et de solutions instinctives; il est temps que la science, la vraie méthode reprenne ses droits et les exerce.

Il n'y a ici ni religion, ni philosophie, ni athéisme, ni matérialisme, ni spiritualisme qui tienne. Je pourrais même ajouter : Comme savant, peu m'importe. C'est une question de fait; je l'ai abordée sans idée préconçue, aussi prêt à déclarer, si l'expérience m'en avait imposé l'aveu, qu'il existe des générations spontanées, que je suis persuadé aujourd'hui que ceux qui les affirment ont un bandeau sur les yeux.

Je prends pour guide ces paroles de Buffon, si vrai et si bien inspiré cette fois :

« J'avoue, dit Buffon, que rien ne serait si beau que d'établir d'abord un seul principe pour ensuite expliquer l'univers, et je conviens que, si l'on était assez heureux pour deviner, toute la peine que l'on se donne à faire des expériences serait bien inutile. Mais les gens sensés voient assez combien cette idée est vaine et chimérique... C'est par des expériences fines, raisonnées et suivies, que l'on force la nature à découvrir son secret. Toutes les autres méthodes n'ont jamais réussi... Il ne s'agit pas, [pour être physicien,] de savoir ce qui arriverait dans telle ou telle hypothèse... Il s'agit de bien savoir ce qui arrive et de bien connaître ce qui se présente à nos yeux [1]. »

Est-ce donc à dire que, dans ce débat relatif aux générations spontanées, partisans et adversaires n'expérimentent pas à l'envi? Pensez-vous que d'un côté il y ait seulement des poètes, des romanciers, des savants à systèmes; de l'autre, des gens prudents qui ne veulent croire qu'aux résultats de l'expérience? Non, non; Dieu merci, nous sommes plus avancés que cela; la philosophie des sciences est plus avant que cela dans nos mœurs, dans nos habitudes de penser, et des deux côtés personne ne veut croire qu'à l'expérience. En voulez-vous la preuve? L'éminent historien que je citais tout à l'heure s'exprime ainsi : « La mort fait la vie. » Harvey lui-même n'osa pas démentir cette croyance antique. En disant : « Tout vient de l'œuf », il ajouta : « ou des éléments dissous de la vie précédente. » Puis M. Michelet continue ainsi :

1. Buffon. Préface de la « Statique des végétaux » de Hales. *Paris*, 1735, in-4°, p. IV et V. (*Note de l'Édition.*)

« C'est justement la théorie qui vient de renaître avec tant d'éclat par les expériences de M. Pouchet. »

Cette phrase, messieurs, placée dans un livre d'imagination qui n'a aucune prétention à la science, qui n'a d'autre prétention que celle de nous émouvoir par le spectacle de la fécondité de la vie au sein des mers, me paraît un des plus beaux hommages que l'on puisse rendre à la puissance de la méthode expérimentale. Qu'importe que M. Michelet ne prenne dans la science que ce qui convient à ses idées préconçues, et qu'importe aussi qu'à côté du nom de M. Pouchet il ne place pas le nom de celui qui le combat; ce que j'admire, c'est qu'il proclame que sa pensée est enchaînée aux résultats de l'expérience.

Si je vous disais que vous trouveriez encore dans Buffon, dans Buffon, un naturaliste de génie qui avait débuté dans la carrière des sciences par de mémorables expériences de physique, habitué en quelque chose par conséquent à la méthode expérimentale et qui en parlait tout à l'heure en termes si magnifiques, si je vous disais que vous trouveriez encore dans Buffon des phrases comme celle-ci : « Cherchons une hypothèse pour ériger un système. » Comprenez-vous le progrès maintenant, lorsque, de nos jours, un romancier se croit tenu de nous dire : « L'expérience est mon guide. » C'est là ce que j'admire et ce qui me fait dire que la philosophie des sciences fait partie intégrante du sens commun. Vous en avez une autre preuve : trouvez donc de notre temps un système philosophique qui ne soit pas plus ou moins frotté de science, pardonnez-moi la vulgarité de cette expression. C'est le même hommage sous une autre forme, c'est le même signe du temps; seulement il ne faut pas croire à l'intelligence de la science chez tous ceux qui en empruntent le langage.

Quoi qu'il en soit, dans ce débat, des deux côtés il y a des expériences, des deux côtés il y a des expérimentateurs. Par conséquent, la question est réduite à ces termes : Qui est-ce qui se trompe? qui est-ce qui expérimente à la Van Helmont? qui est-ce qui laisse rentrer les souris dans le pot de linge sale, à son insu, et les proclame ensuite des générations spontanées? Est-ce vous, partisans de la doctrine? est-ce moi, son adversaire? C'est ce qu'il s'agit de déterminer maintenant avec précision.

Vous n'attendez pas sans doute de moi, messieurs, que je rapporte toutes les expériences en litige; ce serait fatiguer inutilement votre attention. Je choisirai parmi les plus importantes.

Assurément, s'il existe des faits que les partisans de la doctrine de la génération spontanée doivent tenir pour vrais, ce sont ceux-là pour lesquels ils se sont crus autorisés à relever le drapeau de leur doctrine,

tant soit peu oubliée et vaincue depuis la fin du dernier siècle. Ce fut en 1858 que M. Pouchet, directeur du Muséum d'histoire naturelle de Rouen, membre correspondant de l'Académie des sciences, vint déclarer à cette Académie qu'il avait réussi à instituer des expériences qui démontraient péremptoirement l'existence d'êtres microscopiques venus au monde sans germes, par conséquent sans parents semblables à eux [1].

Voici les expressions et les expériences de ce savant naturaliste : « L'air atmosphérique ne peut être et n'est pas le véhicule des germes des proto-organismes. J'ai pensé que ce serait ne laisser aucune prise à la critique, si je parvenais à déterminer l'évolution de quelque être organisé en substituant de l'air artificiel à celui de l'atmosphère. »

Voyez bien ce que l'auteur veut établir. L'air, dit-il, ne peut pas être, n'est pas le véhicule des germes des premiers organismes. C'est qu'en effet les naturalistes qui ne croient pas à la génération spontanée prétendent que les germes des êtres microscopiques existent dans l'air; que l'air les charrie, les transporte à distance, après les avoir soulevés dans les lieux où pullulent ces petits êtres. Voilà l'hypothèse des adversaires de la génération spontanée, et M. Pouchet, qui veut la combattre, ajoute avec pleine raison : « Je ne laisserai aucune prise à la critique si je parviens à déterminer la génération de quelque être organisé en substituant un air artificiel à celui de l'atmosphère. » C'est vrai et logique; voyons comment M. Pouchet va s'y prendre. L'expérience est ainsi racontée dans son Mémoire :

« Un flacon d'un litre de capacité fut rempli d'eau bouillante, et, ayant été bouché hermétiquement avec la plus grande précaution, immédiatement on le renversa sur une cuve à mercure; lorsque l'eau fut totalement refroidie, on le déboucha sous le métal et on y introduisit un demi-litre de gaz oxygène pur », de ce gaz, qui est la partie vitale et salubre de l'air, aussi nécessaire à la vie des êtres microscopiques qu'il l'est à la vie des grands animaux et des grands végétaux. Jusqu'ici il n'y a encore que de l'eau pure et du gaz oxygène dans le vase ; achevons l'infusion.

« Aussitôt après, dit M. Pouchet, on y mit, sous le mercure, une petite botte de foin pesant 10 grammes, renfermée dans un flacon bouché à l'émeri et sortant d'une étuve chauffée à 100°, où elle était restée trente minutes. »

1. Pouchet (F.). Note sur des proto-organismes végétaux et animaux, nés spontanément dans de l'air artificiel et dans le gaz oxygène. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLVII, 1858, p. 979-982. — Pouchet et Houzeau. Expériences sur les générations spontanées. Deuxième partie : Développement de certains proto-organismes dans de l'air artificiel. *Ibid.*, p. 982-984. (*Note de l'Édition*.)

M. Pasteur figure alors cette expérience. Il place le flacon sous le mercure, le débouche et fait passer le foin dans le ballon déjà disposé à l'avance sur la cuve à mercure.

Voilà, messieurs, l'expérience qui a remis en question la doctrine des générations spontanées.

Voici son résultat : au bout de huit jours il y avait dans l'infusion une moisissure développée. Quelle est la conclusion de M. Pouchet? C'est que l'air atmosphérique n'est pas le véhicule des germes, des êtres microscopiques.

En effet, que voulez-vous objecter à M. Pouchet? Lui direz-vous : L'oxygène que vous avez employé renfermait peut-être des germes. — Mais non, répondra-t-il, car je l'ai fait sortir d'une combinaison chimique. — C'est vrai ; il ne pouvait renfermer des germes. Lui direz-vous : L'eau que vous avez employée renfermait des germes. — Mais il vous répondra : Cette eau, qui avait été exposée au contact de l'air, aurait pu en recevoir, mais j'ai eu soin de la placer bouillante dans le vase, et à cette température, si des germes avaient existé, ils auraient perdu leur fécondité. Lui direz-vous : C'est le foin. — Mais non : le foin sortait d'une étuve chauffée à 100°. On lui fit cependant cette dernière objection, car il y a de singuliers êtres qui, chauffés à 100°, ne périssent pas; mais il répondit : Qu'à cela ne tienne! Et il chauffa le foin à 200, 300°... Il dit même, je crois, qu'il a été jusqu'à la carbonisation. Eh bien, je l'admets, l'expérience ainsi conduite est irréprochable, mais seulement sur tous les points qui ont appelé l'attention de l'auteur. Je vais démontrer qu'il y a une cause d'erreur que M. Pouchet n'a pas aperçue, dont il ne s'est pas le moins du monde douté, dont personne ne s'était douté avant lui, et cette cause d'erreur rend son expérience complètement illusoire, aussi mauvaise que celle du pot de linge sale de Van Helmont; je vais vous montrer par où les souris sont entrées. Je vais démontrer que, dans toute expérience du genre de celle qui nous occupe, il faut absolument proscrire l'emploi de la cuve à mercure. Je vais vous démontrer, cela paraît bien extraordinaire au premier abord, que c'est le mercure qui, dans toutes les expériences de cette nature, apporte dans les vases les germes, ou mieux, pour que mon expression n'aille pas présentement au delà du fait démontré, les poussières qui sont en suspension dans l'air.

Il n'est personne parmi vous, messieurs, qui ne sache qu'il y a toujours des poussières en suspension dans l'air. La poussière est un ennemi domestique que tout le monde connaît. Qui d'entre vous n'a vu un rayon de soleil pénétrant par la jointure d'un volet ou d'une persienne dans une chambre mal éclairée? Qui d'entre vous ne s'est

amusé à suivre de l'œil les mouvements capricieux de ces mille petits corps, d'un si petit volume, d'un si petit poids, que l'air peut les porter comme il porte la fumée ? L'air de cette salle est tout rempli de ces petits brins de poussière, de ces mille petits riens, qu'il ne faut pas dédaigner toutefois, car ils portent quelquefois avec eux la maladie ou la mort : le typhus, le choléra, la fièvre jaune et tant d'autres fléaux. L'air de cette salle en est rempli. Pourquoi ne les voyons-nous pas ? Ils sont éclairés cependant. Nous ne les voyons pas parce qu'ils sont si petits, d'un si faible volume, que les quelques rayons de lumière que chacun d'eux envoie à notre œil sont perdus, confondus dans le très grand nombre de rayons que nous envoient même les plus petits objets de cette salle, qui sont toujours d'une grosseur considérable par rapport à chacun de ces petits corps. Nous ne les voyons pas par la même raison que le jour nous ne voyons pas les étoiles à la voûte du ciel. Mais faisons la nuit autour de nous, rendons tout obscur, et éclairons seulement ces petits corps, alors nous les verrons comme le soir on voit les étoiles.

Nous allons produire l'obscurité dans la salle et lancer un faisceau de lumière.

Vous pouvez voir, messieurs, s'agiter bien des poussières dans ce faisceau lumineux. Du reste, ce faisceau de lumière, vous ne le voyez lui-même que parce qu'il y a des brins de poussière dans l'air de la salle. Si vous les supprimiez, vous ne verriez rien, car ce n'est pas la lumière elle-même qui est visible.

Ainsi, messieurs, il y a de la poussière partout dans cette salle. Si j'avais eu quelques instants de plus, je vous aurais dit : Regardez bien dans ce faisceau de lumière, approchez-vous, et vous verrez que ces petits brins de poussière, quoique agités de mouvements divers, tombent toujours plus ou moins vite ; vous en distinguez quelques-uns, et l'instant d'après ils sont un peu plus bas, bien qu'ils flottent dans l'air. Tout en flottant, ils tombent. C'est ainsi que se couvrent de poussière tous les objets, nos meubles, nos vêtements. Il tombe donc en ce moment de la poussière sur tous ces objets, sur ces livres, sur ces papiers, sur cette table, sur le mercure de cette cuve.

Il en tombait tout à l'heure, il y a une heure, deux heures, ce matin, hier. Depuis que ce mercure est sorti de sa mine, il reçoit des poussières, indépendamment de celles qui s'incorporent dans l'intérieur du métal par l'effet des manipulations nombreuses auxquelles on le soumet dans nos laboratoires. Eh bien, je vais vous démontrer qu'il n'est pas possible de toucher à ce mercure, d'effectuer une manipulation quelconque sur ce mercure, d'y placer la main, un flacon, sans introduire dans l'intérieur de la cuve les poussières qui sont à la surface.

Afin de rendre visible l'épreuve à laquelle je vais soumettre la surface de cette cuve à mercure, je vais produire l'obscurité, et éclairer seulement la cuve, puis saupoudrer de la poussière en assez grande quantité. Cela fait, j'enfonce un objet quelconque dans le mercure de la cuve, un bâton de verre par exemple ; aussitôt vous voyez les poussières cheminer et se diriger toutes du côté de l'endroit où j'enfonce le bâton de verre, et pénétrer dans l'espace entre le verre et le mercure, parce que le mercure ne mouille pas le verre.

Voici, messieurs, une cuve beaucoup plus profonde, où l'expérience se fera d'une manière plus saisissante. Elle se compose d'un tube de fer d'un mètre de profondeur, surmonté d'une cuvette. Toute la surface du mercure contenu dans ce vase est couverte de poussière. J'y enfonce le bâton de verre, et peu à peu la surface du mercure se découvre complètement et prend un aspect métallique, de terne qu'elle était auparavant. Toutes les poussières sont dans l'intérieur, à la partie inférieure de la cuve, et la surface se couvrira de nouveau de poussière quand je retirerai le bâton de verre.

Quelle est la conséquence, messieurs, de cette épreuve si simple, mais si grave pour le point qui nous occupe ? C'est qu'il n'est pas possible de manipuler sur la cuve à mercure sans faire pénétrer dans l'intérieur du vase les poussières qui sont à sa surface. C'est vrai, M. Pouchet a éloigné les poussières en se servant de gaz oxygène, d'air artificiel ; il a éloigné les germes qui pouvaient être dans l'eau, dans le foin ; mais ce qu'il n'a pas éloigné, ce sont les poussières et, par suite, les germes qui sont à la surface du mercure.

Mais je vais cependant au delà de l'expérience. Je viens de démontrer qu'il est impossible de manipuler sur la cuve à mercure sans introduire dans le vase les poussières qui sont à la surface. Mais quand je dis les poussières et que j'ajoute par conséquent les germes, je vais plus loin que l'expérience. Que reste-t-il donc à faire ? Il faut que j'arrive à établir que les poussières qui flottent dans l'air renferment des germes d'organismes inférieurs. Eh bien, messieurs, il n'y a rien de plus simple, quel que soit le lieu du globe où l'on opère, que de réunir les poussières qui sont dans l'air, de les examiner au microscope, d'étudier leur composition et de voir ce qu'elles renferment.

Voici un tube de verre qui est ouvert à ses deux extrémités.

Vous avez vu tout à l'heure qu'il y avait de la poussière dans cette salle, qu'il y en a partout. Je suppose que je place l'extrémité du tube de verre à ma bouche et que j'aspire. En aspirant, je fais entrer dans ma bouche, dans l'intérieur de mes poumons, les poussières qui sont en suspension dans l'air. Si je veux prolonger cette aspiration, je n'aurai

qu'à mettre en communication l'extrémité du tube avec un vase rempli d'eau.

On entend aussitôt le bruit de l'aspiration. Par conséquent, il est évident que la poussière passe dans l'intérieur du tube.

Or, si je place dans ce tube une petite bourre de coton, il est bien clair que, si la bourre de coton n'est pas trop tassée de manière à intercepter le passage de l'air, la poussière va rester en grande partie, en presque totalité sur le coton. Je suppose que l'expérience soit faite : voici une de ces bourres ainsi chargées. Les personnes qui sont à petite distance peuvent voir qu'elle en est presque noire. Quoi de plus simple que de mettre un peu d'eau dans ce verre de montre, où je dépose cette bourre de coton, de la malaxer entre les doigts et de faire tomber sur une lame de verre une goutte de cette eau qui tient en suspension la poussière, de laisser l'eau s'évaporer, de rajouter une seconde, puis une troisième goutte et ainsi de suite. On accumulera ainsi sur cette lame de verre une grande quantité de la poussière qui était sur la bourre de coton, alors on observera au microscope. Or, en agissant ainsi ou par un moyen un peu plus compliqué, dans le détail duquel je n'entre pas, voici ce que l'on observe. — M. Duboscq va projeter sur le tableau l'image des poussières recueillies dans l'atmosphère.

Vous y voyez beaucoup de choses amorphes, de la suie, du carbonate de chaux, peut-être de petits fragments de laine, de soie, de coton, enlevés à vos vêtements. Mais au milieu de ces choses amorphes, vous apercevez des corpuscules tels que ceux-ci, qui sont évidemment des corpuscules organisés. Vous voyez donc qu'il y a toujours associés aux poussières amorphes qui flottent dans l'air des corpuscules organisés. Si vous preniez la dimension de ces corpuscules, que vous placiez à côté une de ces graines de moisissure dont je vous ai montré le mode de germination, il serait impossible au plus habile naturaliste d'établir la moindre différence entre ces objets. Ce sont là, messieurs, les germes des êtres microscopiques.

Je pourrais maintenant par un artifice particulier, en brisant d'une certaine façon l'extrémité de ces vases dans lesquels il y a des infusions organiques très altérables au contact de l'air atmosphérique ordinaire, mais qui ne s'altèrent pas ici parce que l'air renfermé dans ces vases a été porté à une température très élevée et a été ainsi rendu impropre à provoquer l'apparition des êtres microscopiques, vous montrer qu'on peut semer dans l'intérieur de ces vases les corpuscules qui sont en suspension dans l'air, et reconnaître au bout de deux ou trois jours que les vases ainsi ensemencés donnent lieu à des êtres microscopiques. Je pourrais, d'autre part, recueillir les corpuscules de l'air sur

de l'amiante, et ensemencer celle-ci après l'avoir fait brûler dans la flamme pour détruire les corpuscules. Dans ce cas, l'infusion reste parfaitement intacte, comme si l'on n'avait rien semé. Donc, ces corpuscules sont bien évidemment des germes, et vous en aurez encore tout à l'heure d'autres preuves non moins convaincantes.

Mais, messieurs, j'ai hâte d'arriver à des expériences, à des démonstrations si saisissantes, que vous ne voudrez retenir que celles-là.

Nous avons prouvé tout à l'heure que M. Pouchet s'était trompé, parce qu'il avait employé dans ses premières expériences une cuve à mercure.

Supprimons l'emploi de la cuve à mercure, puisque nous avons reconnu qu'elle donnait lieu à des erreurs inévitables. Voici, messieurs, une infusion de matière organique d'une limpidité parfaite, limpide comme de l'eau distillée, et qui est extrêmement altérable. Elle a été préparée aujourd'hui. Demain déjà elle contiendra des animalcules, de petits infusoires ou des flocons de moisissures.

Je place une portion de cette infusion de matière organique dans un vase à long col, tel que celui-ci. Je suppose que je fasse bouillir le liquide et qu'ensuite je laisse refroidir. Au bout de quelques jours, il y aura des moisissures ou des animalcules infusoires développés dans le liquide. En faisant bouillir, j'ai détruit les germes qui pouvaient exister dans le liquide et à la surface des parois du vase. Mais comme cette infusion se trouve remise au contact de l'air, elle s'altère comme toutes les infusions.

Maintenant je suppose que je répète cette expérience, mais qu'avant de faire bouillir le liquide, j'étire à la lampe d'émailleur le col du ballon, de manière à l'effiler, en laissant toutefois son extrémité ouverte. Cela fait, je porte le liquide du ballon à l'ébullition, puis je le laisse refroidir. Or, le liquide de ce deuxième ballon restera complètement inaltéré, non pas deux jours, non pas trois, quatre, non pas un mois, une année, mais trois et quatre années, car l'expérience dont je vous parle a déjà cette durée. Le liquide reste parfaitement limpide, limpide comme de l'eau distillée. Quelle différence y a-t-il donc entre ces deux vases? Ils renferment le même liquide, ils renferment tous deux de l'air, tous les deux sont ouverts. Pourquoi donc celui-ci s'altère-t-il, tandis que celui-là ne s'altère pas? La seule différence, messieurs, qui existe entre les deux vases, la voici : Dans celui-ci, les poussières qui sont en suspension dans l'air et leurs germes peuvent tomber par le goulot du vase et arriver au contact du liquide où ils trouvent un aliment approprié, et se développent. De là, les êtres microscopiques. Ici, au contraire, il n'est pas possible, ou du moins il est très difficile,

à moins que l'air ne soit vivement agité, que les poussières en suspension dans l'air puissent entrer dans ce vase. Où vont-elles? Elles tombent sur le col recourbé. Quand l'air rentre dans le vase par les lois de la diffusion et les variations de température, celles-ci n'étant jamais brusques, l'air rentre lentement et assez lentement pour que ses poussières et toutes les particules solides qu'il charrie tombent à l'ouverture du col, ou s'arrêtent dans les premières parties de la courbure.

Cette expérience, messieurs, est pleine d'enseignements. Car remarquez bien que tout ce qu'il y a dans l'air, tout, hormis ses poussières, peut entrer très facilement dans l'intérieur du vase et arriver au contact du liquide. Imaginez ce que vous voudrez dans l'air, électricité, magnétisme, ozone, et même ce que nous n'y connaissons pas encore, tout peut entrer et venir au contact de l'infusion. Il n'y a qu'une chose qui ne puisse pas rentrer facilement, ce sont les poussières en suspension dans l'air, et la preuve que c'est bien cela, c'est que si j'agite vivement le vase deux ou trois fois, dans deux ou trois jours il renfermera des animalcules et des moisissures. Pourquoi? Parce que la rentrée de l'air a eu lieu brusquement et a entraîné avec lui des poussières.

Et par conséquent, messieurs, moi aussi, pourrais-je dire, en vous montrant ce liquide : J'ai pris dans l'immensité de la création ma goutte d'eau, et je l'ai prise toute pleine de la gelée féconde, c'est-à-dire, pour parler le langage de la science, toute pleine des éléments appropriés au développement des êtres inférieurs. Et j'attends, et j'observe, et je l'interroge, et je lui demande de vouloir bien recommencer pour moi la primitive création; ce serait un si beau spectacle! Mais elle est muette! Elle est muette depuis plusieurs années que ces expériences sont commencées. Ah! c'est que j'ai éloigné d'elle, et que j'éloigne encore en ce moment, la seule chose qu'il n'ait pas été donné à l'homme de produire, j'ai éloigné d'elle les germes qui flottent dans l'air, j'ai éloigné d'elle la vie, car la vie c'est le germe et le germe c'est la vie. Jamais la doctrine de la génération spontanée ne se relèvera du coup mortel que cette simple expérience lui porte.

Cependant, messieurs, on peut encore aller plus loin.

Il y a une circonstance qui a singulièrement obscurci le sujet qui nous occupe. Vous savez tous que le jus de raisin ne s'altère pas, ne fermente pas, tant qu'il n'a pas eu le contact de l'air. Tant que le grain est attaché à la grappe, le jus qui est dans l'intérieur du grain ne fermente pas. Mais dès que le grain se trouve déchiré et que le jus est exposé à l'air, il s'altère, et si vous examinez alors ce jus au microscope, vous y voyez une petite végétation, c'est celle que je vous ai montrée tout à l'heure.

Gay-Lussac le premier a reconnu qu'il suffisait de mettre au contact d'une grande quantité de jus de raisin une bulle d'air pour provoquer la fermentation, et, par conséquent, la production de cette végétation cryptogamique. Ce fait a été peu à peu, sans preuves bien étudiées, étendu à toutes les infusions de matières organiques; par exemple, on disait : Prenez une conserve d'Appert et mettez-la au contact de l'air, ou seulement introduisez dans l'intérieur de la conserve une très petite quantité d'air, la conserve s'altérera, et si vous l'examinez au microscope, vous y trouverez des animalcules infusoires et des moisissures. Alors les partisans de la génération spontanée ont fait l'objection suivante : ils ont dit à leurs adversaires : Mais comment voulez-vous qu'il y ait dans l'air atmosphérique assez de germes d'êtres microscopiques pour que la plus petite bulle d'air renferme les germes qui peuvent se développer dans toutes les infusions organiques, cela n'est pas possible. S'il en était ainsi, il y aurait dans l'air encombrement de matière organique, elle y formerait un brouillard épais. Je crois même que M. Pouchet a dit : « Cela formerait un brouillard dense comme du fer. »

Je me rappelle qu'au moment où j'ai commencé à m'occuper de ces études, cette objection me paraissait difficile à résoudre. Je ne comprenais pas que chaque petite bulle d'air pût fournir à chaque infusion les germes propres à cette infusion. Cette objection est donc sérieuse, mais à quelle condition ? c'est que la base sur laquelle elle s'appuie soit une base solide. Eh bien, je vais vous démontrer qu'il est absolument faux qu'une petite quantité d'air, prise en n'importe quel point de la surface du globe, soit capable de provoquer le développement d'organismes microscopiques dans une infusion quelle qu'elle soit.

Je prends une matière organique parfaitement limpide, tellement altérable que demain vous la verriez toute trouble, pourvu que la température soit de 15 à 25°.

Je place dans un vase une certaine quantité de cette infusion très putrescible, j'étire le col, puis je fais bouillir le liquide. L'air qui était dans le ballon est forcé d'en sortir par le dégagement de la vapeur d'eau. D'ailleurs, en chauffant le liquide jusqu'à 100°, je détruis la fécondité des germes que l'air a pu y apporter.

Au moment où le liquide est en ébullition depuis quelques minutes, je ferme, à l'aide d'une lampe d'émailleur, l'extrémité du tube, en faisant fondre le verre, puis je laisse refroidir. Voici des vases préparés de cette manière.) Ces vases, par conséquent, sont vides d'air, et, au point de vue de la génération spontanée, tout aussi bien qu'à celui de

la doctrine contraire, il n'est pas possible que le liquide qu'ils contiennent s'altère. Je suppose maintenant que je brise leur col ; vous entendez un sifflement : c'est l'air qui est entré avec force dans le ballon, parce que le vide y existait. Je le referme alors. Qu'y a-t-il dans ce vase? Une infusion de matière organique très altérable, putrescible ; et quoi encore? De l'air ordinaire, de l'air de cette salle, qui est entré avec force, entraînant avec lui toutes les poussières qu'il tient en suspension.

Si la génération spontanée existe, le liquide va s'altérer, il n'est pas possible qu'il en soit autrement. En effet, cela arrive ainsi ; mais il s'altère seulement dans certains cas, c'est-à-dire que si je prends, par exemple, vingt ballons tels que celui-ci, préparés comme je l'ai indiqué il y a un instant, que j'ouvre, ainsi que je l'ai fait tout à l'heure, ces vingt ballons, que je les referme ensuite, et que j'abandonne ces vases dans une étuve, il arrive constamment, c'est l'expérience qui le démontre, et rien au monde ne peut détruire la puissance de ce fait, il arrive constamment qu'un certain nombre de ces ballons restent entièrement inaltérés, sans qu'il s'y développe le moindre animalcule, la moindre moisissure. Par conséquent, messieurs, la génération spontanée n'existe pas. Quoi de plus impossible, en effet, qu'un tel résultat dans l'hypothèse de la génération spontanée! Au contraire, quoi de plus naturel, je dis plus, quoi de plus nécessaire, dans la doctrine adverse! En effet, s'il est vrai qu'il existe des germes dans l'air, il y a évidemment dissémination de ces germes, il est clair qu'il y en a ici, et que là il n'y en a pas. Qui dit dissémination aérienne des germes dit absence de continuité de la cause des générations spontanées. Aussi savez-vous ce qui est arrivé? Les partisans de la génération spontanée disent : Cela n'est pas vrai. C'est-à-dire qu'ils nient l'évidence. Et quand est-ce que le nombre des ballons qui ne s'altèrent pas sera le plus considérable? C'est évidemment quand on s'éloignera des lieux habités, où il y a beaucoup de poussière, des lieux bas, humides, marécageux, quand on s'élèvera sur des montagnes ou qu'on descendra dans les profondeurs de la terre. Allez, par exemple, sur un glacier, sur la Mer de Glace, il est bien clair que l'air, quoique renfermant encore des poussières, en renferme moins que dans cette salle.

J'ai fait, messieurs, toutes ces expériences. Parmi les vases que je vous présente, il en est qui ont été ouverts dans un appartement, dans un laboratoire, dans un jardin; sur le Jura, à huit cent et tant de mètres d'élévation ; d'autres qui ont été ouverts sur la Mer de Glace. Sur la Mer de Glace, j'en ai ouvert vingt. Un seul s'est altéré. C'est le 22 septembre 1860 que j'ai fait cette expérience. Et croyez-vous par

hasard qu'il y ait quelque chose dans ces liquides qui les ait empêchés de s'altérer? Brisez le col de ces ballons; demain, après-demain au plus tard, il y aura des organismes si la température des ballons est de 20 à 25°. Dix-neuf ballons sur vingt sont restés intacts parmi ceux du Montanvert [près de la Mer de Glace], quinze sur vingt parmi ceux du Jura, et douze sur vingt parmi ceux qui ont été ouverts dans la campagne au pied du Jura (1).

Je vous disais tout à l'heure que, plus on s'éloignait des habitations, moins il y a de germes dans l'air, et plus grand est le nombre des ballons qui ne s'altèrent pas.

Inversement, plus on se rapproche des habitations, et plus grand est le nombre des ballons qui s'altèrent. J'en ai eu une preuve intéressante et que je dois vous raconter. J'avais emporté, pour refermer mes ballons sur la Mer de Glace, une lampe à jet d'alcool. J'ouvre mes ballons, et me mets en mesure de les refermer. Chose singulière! le soleil donnant sur la glace, la blancheur de la glace était telle qu'il me fut impossible de distinguer le jet d'alcool enflammé, que le vent rendait d'ailleurs un peu mobile. Je ne suis pas parvenu à maintenir sur l'extrémité effilée du col le jet de la flamme assez longtemps pour pouvoir en fermer l'ouverture : je ne la voyais pas. Vous me direz : Vous auriez pu faire ombre autour de votre lampe avec vos vêtements. Oui; mais les vêtements auraient été une source de poussière, et j'aurais couru risque d'introduire, dans l'air que je voulais recueillir, précisément ce que j'avais intérêt à éloigner. Je fus obligé de passer la nuit à la petite auberge du Montanvert, et de recommencer l'expérience le lendemain avant le lever du soleil, avec une autre série de vingt ballons.

Je ne refermai que le lendemain les treize ballons rapportés à l'auberge, qui avaient donc été exposés une nuit, ouverts, aux poussières de la chambre que j'occupais. Eh bien! savez-vous combien il y en eut qui s'altérèrent? Dix sur treize (2).

Messieurs, si l'heure avancée ne m'obligeait de finir, j'aurais pu vous montrer en terminant les liquides les plus altérables qu'il y ait au monde, au moins ceux qui ont cette réputation, le sang et l'urine, prélevés par un artifice particulier dans les veines ou dans la vessie d'animaux vivants en pleine santé, exposés ensuite au contact de l'air,

1. Le texte publié dans la *Revue des cours scientifiques* comporte des erreurs de nombres qui ont été corrigées d'après le manuscrit de Pasteur, d'après la communication à l'Académie des sciences sur le même sujet (p. 202-205 du présent volume), d'après le « Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère » (p. 210-294 du présent volume) et d'après la Leçon à la *Société chimique* (p. 295-317 du présent volume).

2. *Ibid.* (*Notes de l'Édition.*)

mais de l'air privé de ses germes, de ses poussières, et je vous aurais fait voir que ces liquides ne sont pas le moins du monde altérés. Cette expérience date du mois de mars 1863. L'urine conserve jusqu'à son odeur; il n'y a aucune espèce de putréfaction. Il en est de même du sang. Et remarquez qu'il s'agit de liquides qui n'ont subi aucune élévation de température. Jusqu'à présent j'avais toujours fait bouillir les liquides; mais ce sang et ces urines sont tels qu'ils étaient quand on les a pris sur des animaux vivants. Donc, encore une fois, la génération spontanée des êtres microscopiques est une chimère.

Non, il n'y a aucune circonstance aujourd'hui connue dans laquelle on puisse affirmer que des êtres microscopiques sont venus au monde sans germes, sans parents semblables à eux. Ceux qui le prétendent ont été le jouet d'illusions, d'expériences mal faites, entachées d'erreurs qu'ils n'ont pas su apercevoir ou qu'ils n'ont pas su éviter.

Maintenant, messieurs, il y aurait un beau sujet à traiter : c'est celui du rôle, dans l'économie générale de la création, de quelques-uns de ces petits êtres qui sont les agents de la fermentation, les agents de la putréfaction, de la désorganisation de tout ce qui a eu vie à la surface du globe. Ce rôle est immense, merveilleux, vraiment émouvant. Un jour peut-être me sera-t-il donné de vous exposer ici quelques-uns de ces résultats. Dieu veuille que ce soit encore en présence d'une aussi brillante assemblée!

NOTE
RELATIVE A DES RÉCLAMATIONS DE PRIORITÉ SOULEVÉES PAR M. BÉCHAMP, AU SUJET DE MES TRAVAUX SUR LES FERMENTATIONS ET LES GÉNÉRATIONS DITES SPONTANÉES (1)

M. Béchamp a publié dans ces derniers temps une suite d'articles (2) au sujet des fermentations et des générations dites *spontanées*, dans lesquels un œil attentif découvre facilement des réclamations de priorité s'adressant à mes travaux sur ces mêmes matières, jointes à des appréciations historiques erronées. Ce savant s'appuie exclusivement sur une Note qu'il a insérée dans les *Annales de chimie et de physique* pour l'année 1858 (3e sér., LIV, p. 28-42), et qui est intitulée : *De l'influence que l'eau pure, ou chargée de divers sels, exerce, à froid, sur le sucre de canne.*

Cette Note établit : 1° que l'eau pure n'intervertit le sucre de canne qu'autant que des moisissures ont pu prendre naissance; 2° que la créosote empêche le développement de ces moisissures ; 3° que si l'on fait bouillir de l'eau sucrée en laissant rentrer dans le vase de l'air qui a passé dans de l'acide sulfurique, il n'y a pas davantage de moisissures formées.

Ces faits n'ont aucun rapport avec les expériences qui me sont personnelles (3).

A un point de vue général, ont-ils servi la question des générations dites *spontanées* ou celle des fermentations? Pas le moins du monde. En effet, en ce qui concerne les générations dites *spontanées*, M. Béchamp

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 14 décembre 1863, LVII, p. 967-969.

2. Béchamp. [Sur l'acide acétique de la fermentation alcoolique.] *Ibid.*, LVI, 1863, p. 1231-1234. — [Sur l'utilité et les inconvénients des cuvages prolongés dans la fabrication du vin. Sur lafermentation alcoolique dans cette fabrication.] *Ibid.*, LVII, 1863, p. 674-679. — [Sur les générations dites spontanées.] *Ibid.*, p. 958-960. — Et un ouvrage ayant pour titre : « Leçons sur la fermentation vineuse ». *Montpellier*, 1863, in-12.

3. Je n'ai point étudié l'interversion du sucre de canne, et tous ceux qui connaissent mes travaux savent bien que, si je l'avais fait, j'aurais commencé par distinguer essentiellement ce phénomène des fermentations proprement dites qui, seules, ont fait l'objet de mes recherches.

n'a rien ajouté, soit aux expériences nombreuses et anciennes sur l'absence de développement des êtres organisés inférieurs sous l'influence des antiseptiques, soit à l'expérience de M. Schulze, que M. Béchamp a reproduite avec de l'eau sucrée. (*Voir* l'expérience de Schulze dans mon Mémoire sur les générations dites spontanées. [1])

En ce qui concerne la théorie des fermentations, M. Béchamp n'a rien ajouté aux conséquences des observations par lesquelles MM. Dubrunfaut [2] et Mitscherlich [3] ont démontré que la végétation cellulaire levûre de bière intervertit le sucre. M. Mitscherlich a même été plus loin que M. Béchamp, puisqu'il a montré que c'était la partie soluble de la levûre qui intervertissait le sucre, ce que M. Béchamp n'a pas encore fait pour les moisissures. (*Voir* : Berzelius. *Rapport annuel sur les progrès de la chimie*. Paris, 1843.) Il n'en a pas moins été utile, et c'est le service que M. Béchamp a rendu, de démontrer que l'eau sucrée ne s'intervertissait que dans les cas où l'introduction de l'air et l'absence des antiseptiques avaient permis la formation de moisissures. Si M. Béchamp avait pris soin de rappeler l'expérience de Schulze, les expériences sur les antiseptiques, et l'action de la levûre de bière si bien étudiée par M. Mitscherlich, il verrait mieux aujourd'hui sans doute que sa Note n'a rien à faire avec les progrès accomplis ultérieurement dans l'étude des fermentations ou des générations dites *spontanées*.

Le lecteur qui désirerait se rendre compte de l'étendue des prétentions et des erreurs historiques de M. Béchamp fera bien de lire la préface que ce chimiste a placée en tête d'un petit volume qu'il vient de publier à Montpellier, sous ce titre : *Leçons sur la fermentation vineuse*. J'aurai l'occasion d'en parler ailleurs.

1. Pasteur. Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées. *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., LXIV, 1862, p. 5-110, et p. 210-294 du présent volume.
2. Dubrunfaut. *Loc. cit.*
3. Mitscherlich. *Loc. cit.* (*Notes de l'Édition.*)

OBSERVATIONS VERBALES [1] RELATIVES A DES NOTES COMMUNIQUÉES A L'ACADÉMIE PAR M. VICTOR MEUNIER DANS LES SÉANCES DES 28 AOUT, 11 SEPTEMBRE ET 11 DÉCEMBRE 1865 [SUR LES GÉNÉRATIONS DITES SPONTANÉES] [2]

Mon intention n'était pas de répondre à ces Notes, mais quelques-uns de mes confrères m'ayant fait observer obligeamment tout à l'heure que mon silence pourrait être mal interprété par quelques personnes, je me rends à leur bienveillant avis.

Puisque l'occasion m'en est offerte, je regretterai tout d'abord que ces Notes, lorsqu'elles ont été adressées à l'Académie, ne m'aient pas été communiquées, séance tenante, par les Membres qui les ont présentées, ou tout au moins qu'elles n'aient pas été lues intégralement, afin que je susse à quoi m'en tenir sur l'opportunité d'une réponse immédiate.

M. Victor Meunier essaye de contredire les résultats des expériences que j'ai faites avec des matras à cols recourbés et sinueux, et, dans ses Notes des 28 août et 11 septembre, au lieu de se servir, comme je l'avais fait, d'un vase à un seul col, il adapte au même matras neuf cols sinueux, en faisant ce raisonnement puéril que neuf cols sinueux devront mieux arrêter les germes qu'un seul. Ai-je besoin de dire qu'en adoptant cette disposition et d'autres que je passe sous silence, M. V. Meunier introduit comme à plaisir des causes d'erreur évidentes? Lorsqu'on veut avoir dans un appartement un libre courant d'air, on n'ouvre pas seulement une fenêtre, mais deux, et de préférence placées à peu près vis-à-vis l'une de l'autre. Comment M. V. Meunier

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 18 décembre 1865, LXI, p. 1091-1093.

2. Meunier (V.). Expérience relative à la question des générations spontanées. *Ibid.*, 28 août 1865, LXI, p. 377. — Nouvelle expérience relative à la question des générations spontanées. *Ibid.*, 11 septembre 1865, LXI, p. 449. — Expériences sur le développement de la vie dans les ballons à cols recourbés. *Ibid.*, 11 décembre 1865, LXI, p. 1060. (*Note de l'Édition.*)

n'a-t-il pas vu qu'avec deux ou neuf ouvertures, le moindre mouvement de l'air, dans la pièce où sont conservés ses matras, aura inévitablement son contre-coup jusque dans l'intérieur de ces matras, et que l'air exterieur pourra y pénétrer en nature avec toutes ses poussières! Un seul col agit d'une manière absolument différente. L'air intérieur fait coussin ou ressort, et le mouvement du gaz n'a de vitesse sensible que dans les premières parties de la courbure. La preuve évidente que les particules solides, germes, poussières minérales, etc., ne pénètrent pas dans le matras à un seul col, c'est que je possède des liqueurs putrescibles qui se conservent sans altération dans des vases à cols sinueux depuis plusieurs années, et à la surface desquels liquides il n'y a pas la moindre trace de poussière, tandis que, sur les parois extérieures des matras, la couche de poussière est énorme. La disposition adoptée préserve donc le liquide de la chute des particules solides qui sont en suspension dans l'air. Cela saute aux yeux.

M. V. Meunier dit que les résultats de mes expériences peuvent tenir à ce que je chauffe plus ou moins longtemps. C'est absolument erroné, et M. V. Meunier peut, s'il le désire, régler l'ébullition, un chronomètre à la main, et il verra que les résultats généraux sont les mêmes. N'ai-je pas insisté d'ailleurs sur ce fait que, quel que soit le mode de préparation de la liqueur, pourvu que l'on satisfasse, bien entendu, aux conditions indispensables d'une bonne expérience, et quel que soit le temps qui s'est écoulé depuis le moment où celle-ci a été mise en train, si l'on vient à détacher le col du ballon par un trait de lime, le lendemain ou le surlendemain le liquide est envahi par des organismes inférieurs? Ce liquide demeure donc éminemment propre dans tous les cas au développement de ces organismes. Je n'ai altéré en quoi que ce soit la fameuse *faculté génésique* des infusions, qui est un mot vide de sens.

M. V. Meunier dit encore que les résultats des expériences s'expliquent par la nature des infusions. Je le crois bien : c'est là un résultat qui m'appartient et que je revendique. N'ai-je pas fait observer que mes expériences des matras à cols sinueux ne réussissent pas avec le lait, qu'il faut dans ce cas chauffer à 100 et quelques degrés? J'ai même donné une formule générale à l'aide de laquelle on peut constituer les liqueurs les plus variées offrant des résultats du même genre. Il suffit de se souvenir de la différence des essais avec l'eau de levûre pure, et l'eau de levûre mise préalablement à bouillir avec du carbonate de chaux. Il resulte de mes expériences que l'on peut admettre d'une manière à peu près générale, sans que je veuille toutefois sortir du domaine des faits que j'ai observés, que les infusions à réaction lége-

rement acide n'exigent qu'une température de 100°, ou inférieure à 100°, et que les liquides neutres, ou mieux très légèrement alcalins, doivent être portés, comme le lait, à plus de 100°.

L'influence de la composition des liqueurs ne ressort-elle pas encore de mes recherches sur les maladies des vins, où je démontre que ce liquide acide et alcoolique n'a besoin que d'être porté à 50 ou 60° pour que les germes des parasites qui sont la source de ses maladies perdent leur vitalité, germes (ou mieux articles, déjà de la nature de l'être parfait) que l'on peut voir et pour ainsi dire compter dans le dépôt d'une bouteille de vin rouge quelconque.

J'ajouterai que je n'ai jamais dit que dans la série de mes expériences avec matras à cols recourbés ou sinueux, cent expériences sur cent réussissent. Ce qui doit étonner, ce qui a profondément surpris à l'origine toutes les personnes qui ont vu ces expériences et moi-même, c'est leur succès à peu près constant. Ce succès, n'existerait-il qu'une fois sur mille, serait à mes yeux tout aussi probant, parce que l'on pourrait appliquer encore à ce cas particulier, et avec autant de force, ce jugement si clair porté par M. Flourens, rappelé par M. V. Meunier dans sa dernière communication, et que je prends la liberté de reproduire à mon tour :

« Pour avoir des animalcules, que faut-il, dit M. Flourens, si la génération spontanée est réelle ? De l'air et des substances putrescibles. Or, M. Pasteur met ensemble de l'air et des liqueurs putrescibles et il ne se fait rien. La génération spontanée n'est donc pas. Ce n'est pas comprendre la question que de douter encore. »

OBSERVATIONS VERBALES [1]
PRÉSENTÉES APRÈS LA LECTURE DE LA NOTE DE M. DONNÉ
[SUR LES GÉNÉRATIONS DITES SPONTANÉES] [2]

Les expériences que M. Donné soumet au jugement de l'Académie, autant que j'en puis juger sur la simple lecture qui vient d'en être faite, sont loin d'avoir, à mon avis, la rigueur qu'il leur attribue. Celles qu'il rappelle dans sa Note et qu'il avait faites en 1863 [3], m'avaient paru, au contraire, et me paraissent encore irréprochables. Elles reposaient sur le raisonnement le plus judicieux, et nulle cause d'erreur ne les affectait. M. Donné s'était dit : La matière de l'œuf doit être éminemment propre à une organisation *primitive*. Je vais abandonner des œufs à eux-mêmes, entiers, sans briser leurs coques, et, lorsque l'altération de leur contenu sera bien accusée, j'examinerai la substance intérieure au microscope. Si la génération spontanée est possible, je dois y rencontrer des êtres organisés.

Le résultat a été négatif. M. Donné n'a trouvé dans les œufs altérés ni moisissures ni infusoires.

Telles sont les expériences que M. Donné a publiées en 1863. Elles sont, à mon avis, irréprochables. Alors comme aujourd'hui je n'y entrevois pas de cause d'erreur, et les idées qui leur servent de point de départ sont exactes.

Tout est contestable, au contraire, dans les nouvelles expériences de M. Donné. Le raisonnement qui le guide est une hypothèse, et les dispositions expérimentales qu'il emploie sont d'une efficacité très douteuse pour écarter les causes d'erreur.

« La petite quantité d'air renfermée dans l'œuf, non renouvelée, n'était peut-être pas suffisante, dit M. Donné, pour déterminer le grand phénomène d'une génération spontanée, c'est-à-dire pour

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 13 août 1866, LXIII, p. 305-308.
2. Donné (A.). De la génération spontanée des moisissures végétales et des animalcules infusoires. *Ibid.*, p. 301-305.
3. Donné. Expériences sur l'altération spontanée des œufs. *Ibid.*, LVII, 1863, p. 448-452.
(*Notes de l'Édition.*)

donner la vie à un certain arrangement moléculaire de la matière organique. »

Voilà l'hypothèse dans le raisonnement. Nous savons que la vie du jeune poulet s'accommode très bien de l'oxygène qui pénètre à travers les parois de la coque.

Considérons maintenant les dispositions des expériences.

« Des œufs sont lavés avec soin, bien essuyés et aussitôt enveloppés d'une épaisse couche de coton cardé sortant d'une étuve chauffée à 150°. Le coton est bien collé tout autour de l'œuf, afin qu'il ne se déplace pas. Un stylet fin, préalablement rougi au feu, afin de détruire les germes qui pourraient y adhérer, est introduit obliquement sous le coton, et le sommet de l'œuf est percé d'un trou. Tous les œufs, ainsi préparés, sont rangés debout dans une terrine remplie de cendres retirées toutes chaudes du foyer ; le tout est recouvert d'une cloche en verre. Ayant toujours voulu opérer à la température de l'air extérieur, sans avoir recours à la chaleur artificielle d'une étuve, mes expériences ont été faites pendant les mois d'été à Montpellier. »

Les causes d'erreur sont multiples. Je n'en signalerai qu'une. Du coton sort d'une étuve à 150°, et il est appliqué sur l'œuf. Mais quand l'opérateur l'applique et le colle à la surface de l'œuf, toute la manipulation est faite à la température ordinaire et au libre contact de l'air. Les poussières en suspension dans cet air, celles de la surface de l'œuf, celles de la surface des mains de l'opérateur, qui les éloigne, quelle précaution est prise pour supprimer la vitalité des germes qu'elles peuvent renfermer? Je ne le vois pas, et l'auteur n'en dit rien. Dans les premières expériences de M. Donné, la coquille de l'œuf laissée intacte rendait tous ces soins superflus.

Ce que j'avais loué principalement dans les anciennes expériences de M. Donné en 1863, c'était, ainsi qu'il le rappelle dans l'extrait qu'il publie de la lettre que je lui ai adressée à cette époque, lorsqu'il m'avait chargé de présenter ses résultats à l'Académie, c'était la pensée excellente d'avoir opéré sur des matières organiques dans leur état naturel, n'ayant point subi préalablement l'action de la chaleur.

Déjà antérieurement, j'avais fait connaître des expériences qui avaient porté précisément sur de telles matières, le sang et l'urine à l'état frais, et j'avais obtenu des résultats que les expériences de M. Donné sur les œufs venaient confirmer. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LVI, 1863, p. 738-739 [1].)

J'avais réussi à maintenir durant des mois et des années du sang et

1. *Voir* p. 165-171 du présent volume : Examen du rôle attribué au gaz oxygène atmosphérique dans la destruction des matières animales et végétales après la mort. (*Note de l'Édition.*)

de l'urine au contact de l'air privé de ses germes dans un ballon de verre, sans que ces substances éprouvassent d'autres altérations que celles qui résultent d'une oxydation directe de quelques-uns de leurs principes au contact du gaz oxygène de l'air des ballons. J'avais adopté les dispositions suivantes :

Un ballon de verre de $\frac{1}{2}$ litre de capacité est joint par un caoutchouc à un robinet de cuivre à branches un peu allongées, lequel est joint lui-même à un tube de platine chauffé au rouge. Quelques centimètres cubes d'eau ont été laissés dans le ballon. On fait bouillir cette eau, dont la vapeur chasse l'air du ballon, du robinet, des tubes, et détruit la vitalité des germes qui peuvent se trouver à la surface intérieure de ces objets. On laisse refroidir le ballon. Quand sa température est descendue à 30 ou 40°, on ferme le robinet et on sépare l'appareil du tube de platine.

Cela fait, on ouvre la veine ou l'artère d'un chien et on y introduit l'appendice tubulaire du robinet, en liant aussitôt la paroi du vaisseau sur le tube de cuivre. On ouvre alors doucement le robinet. Comme il a été fermé lorsque l'air du ballon était à la température de 30 à 40°, et que la prise du sang n'a lieu qu'à la température ordinaire, par l'effet du vide partiel qui est dans le ballon, le sang de l'animal est appelé dans le ballon. On ferme le robinet lorsqu'il en est entré quelques centimètres cubes. Dans ces conditions, et malgré la petite cause d'erreur apportée par le libre contact de l'air dans l'instant où le tube-canule du robinet pénètre dans le vaisseau, presque toutes les expériences ont le résultat suivant : le sang ne se putréfie pas, et, dans l'intervalle de quelques jours, tous les globules ont disparu, remplacés par ces cristaux du sang qui ont été si difficiles à préparer jusqu'à ce jour en grande quantité ; il n'y a production ni d'animalcules ni d'infusoires. Les vases sont clos, mais la cloche qui recouvre les œufs de M. Donné forme également un espace clos.

Les expériences avec l'urine extraite directement de la vessie sur le vivant ont toutes donné un résultat de même ordre. Plusieurs des vases qui m'ont servi sont encore dans mon laboratoire, sans présenter la moindre putréfaction.

Telles sont les observations que me suggère la lecture de la Note que l'Académie vient d'entendre.

Toutefois, je m'empresse de répéter ici ce que j'ai dit souvent : On ne peut pas prouver *a priori* qu'il n'existe pas de générations spontanées. Tout ce que l'on peut faire, c'est de démontrer : 1° qu'il y a eu des causes d'erreur inaperçues dans les expériences ; 2° qu'en écartant ces causes d'erreur sans toucher aux conditions fondamentales des

essais, toute apparition d'êtres inférieurs cesse d'avoir lieu. Ce double examen sera nécessaire chaque fois qu'un expérimentateur consciencieux viendra saisir l'Académie de résultats nouveaux qu'il jugera favorables à la doctrine des générations spontanées. Aujourd'hui, M. Donné, qui s'est montré maintes fois observateur habile et plein de sagacité et qui cherche la vérité sans parti pris, indique à l'Académie un dispositif nouveau d'expériences dont il interprète les résultats en faveur de cette doctrine. Le rôle de l'Académie est tout tracé. Il faut examiner avec soin ces expériences, il faut éclairer l'auteur, le prier d'écarter les causes d'erreur qu'il a négligées, celles, par exemple, que je signalais tout à l'heure, et chercher avec lui la vérité. Pour ma part, je suis tout prêt à donner mon concours à la Commission qui sera chargée de porter un jugement sur le travail de M. Donné.

OBSERVATIONS VERBALES [1] PRÉSENTÉES APRÈS LA LECTURE DE LA NOTE DE M. DONNÉ [SUR LES GÉNÉRATIONS DITES SPONTANÉES] [2]

L'Académie me permettra, et M. Donné également, de témoigner de la surprise que je viens d'éprouver en entendant la lecture de la Note du savant recteur de l'Académie de Montpellier.

Je me félicite assurément que M. Donné ait senti la nécessité d'écarter de ses premières expériences les causes d'erreur dont elles étaient si évidemment entachées. On se rappelle que M. Donné collait du coton à froid et au libre contact de l'air sur des œufs avant de percer leur coque, et qu'il concluait, de la présence ultérieure de moisissures à l'endroit percé, que celles-ci étaient d'origine spontanée.

Que fait aujourd'hui M. Donné ? Sur des œufs ouverts dont il a laissé échapper une partie de leur contenu, il jette de l'eau bouillante, et, de la présence de vibrions là où ils ont été brisés, il conclut que la matière de l'œuf s'est organisée d'elle-même en vibrions agiles, par un simple jeu des molécules.

Pourquoi M. Donné verse-t-il de l'eau chaude sur ses œufs? C'est apparemment, et il le dit expressément, pour tuer les germes qu'il a pu laisser s'introduire dans ses œufs en les brisant. Mais où donc, je le demande, M. Donné a-t-il lu dans mes Mémoires que j'admettais qu'une température de 75° tuait tous les germes? N'ai-je pas fait au contraire de nombreuses et précises expériences pour prouver le contraire? N'ai-je pas démontré que le lait offrait des vibrions après avoir été porté à 100° ? N'ai-je pas donné une méthode générale pour obtenir des liquides présentant exactement la propriété du lait? N'ai-je pas établi expérimentalement que pour cette nature de liquides

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 17 décembre 1866, LXIII, p. 1073-1075.

2. DONNÉ (A.). Sur la génération spontanée des animalcules infusoires. *Ibid.*, p. 1072-1073. (*Note de l'Édition.*)

il fallait une température supérieure à 100°? Et comment M. Donné, s'il ignore celles de mes expériences qu'il prétend réfuter, ne connaît-il pas ces résultats, très précis cette fois, et irréprochables, que M. Pouchet vient de communiquer à l'Académie, il y a quelques jours seulement [1]? Je m'étonne que les partisans de la génération spontanée, parmi lesquels se range aujourd'hui M. Donné, n'aient pas prêté à ces expériences toute l'attention qu'elles méritent. Elles démontrent, en effet : 1° qu'il y a des graines dont l'embryon perd toute vitalité lorsqu'on les chauffe à 100° dans l'eau bouillante; 2° qu'il en est d'autres, au contraire, que l'on peut chauffer à 100° dans l'eau bouillante *durant quatre heures* sans leur enlever la faculté de germer. En d'autres termes, il y a des espèces de graines qui ne perdent leur vitalité que lorsqu'on a porté leur température au delà de 100° au sein de l'eau.

Que M. Donné reprenne donc ses expériences en éloignant les causes d'erreur qu'il y a de nouveau manifestement introduites. Les données antérieures de la science proclament que, si un auteur désire rechercher ce qui se passe dans la matière des œufs exposés à l'air et y détruire les germes des vibrions, bacteriums, etc., qu'elle en a reçus ou qu'elle a reçus des poussières des objets qu'elle a touchés, il faut, non pas se contenter de jeter sur cette matière de l'eau à 75°, mais la placer à 100 et quelques degrés. 100° ne suffisent à l'ordinaire qu'autant que le liquide serait à réaction faiblement acide. S'il est neutre, et mieux encore un peu alcalin, comme il arrive pour la substance intérieure de l'œuf, il est indispensable de dépasser 100°. Voilà ce qui résulte clairement de mes expériences, notamment de celles du § II du chapitre V de mon Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère [2], et, je puis ajouter, des expériences nouvelles de M. Pouchet que je viens de mentionner.

C'est seulement après que M. Donné aura fait ces expériences qu'il pourra se croire autorisé, sur la foi de leurs résultats, à tirer des conclusions favorables ou défavorables à la doctrine des générations dites *spontanées*.

Ces expériences, je les ai faites, en ce qui me concerne, et mille autres très variées, et ce sont leurs résultats décisifs qui m'ont fait dire et répéter que, dans l'état actuel de la science, l'hétérogénie est une chimère.

1. Pouchet. Expériences comparées sur la résistance vitale de certains embryons végétaux. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXIII, 1866, p. 939-941.

2. *Voir* ce Mémoire p. 210-294 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

OBSERVATIONS [1]
[AU SUJET DE LA NOTE DE M. POUCHET : SUR LA RÉSISTANCE VITALE] [2]

M. Pouchet paraît me reprocher d'avoir cité son nom et le dernier travail qu'il a communiqué à l'Académie, dans ma réponse à une Note de M. Donné [3], et il prend occasion de ce fait pour reproduire une de ses dissertations bien connues au sujet de sa thèse favorite. Voici la vérité : je me suis donné la satisfaction de mettre en présence et d'opposer les résultats d'expériences que deux partisans de l'hétérogénie ont adressés à l'Académie à quelques jours d'intervalle, ceux de M. Donné faisant reposer la valeur de ses conclusions sur l'assertion qu'il suffit de porter tous les germes à 75° pour les tuer, et ceux de M. Pouchet affirmant qu'on peut laisser certaines graines pendant quatre heures dans l'eau bouillante sans les priver de leur faculté germinative. Que MM. Pouchet et Donné se mettent d'accord ! C'est affaire entre eux. C'est M. Pouchet, selon moi, qui est dans le vrai. N'avais-je pas le droit et même le devoir de le dire ? Il est si rare que M. Pouchet et moi soyons de la même opinion ! Mais voilà que l'honorable correspondant de l'Académie, dans la dernière phrase de sa Note, voudrait tirer profit de l'approbation que j'ai donnée à son expérience récente (expérience qui est encore bien plus, comme il nous l'a appris lui-même, l'expérience des ouvriers de Rouen [4] que la sienne propre), pour faire croire que toutes ses expériences antérieures n'ont pas été moins exactes. C'est une manière de raisonner dont le lecteur a fait justice avant moi.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 31 décembre 1866, LXIII, p. 1139.
2. *Ibid.*, p. 1137-1139.
3. *Voir* la communication précédente.
4. « Elbeuf », dans le texte de Pouchet publié dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXIII, 1866, p. 939. (*Notes de l'Édition.*)

III

NOUVELLES RECHERCHES SUR LES FERMENTATIONS

DISCUSSIONS SUR L'ORIGINE ET LA NATURE DES FERMENTS

(1871-1879)

NOTE SUR UN MÉMOIRE DE M. LIEBIG, RELATIF AUX FERMENTATIONS [1]

M. Liebig a publié, en 1870 [1869], un grand Mémoire sur les fermentations qui vient d'être traduit dans les *Annales de chimie et de physique* [2]. C'est une critique très approfondie, en apparence, de quelques-unes de mes études sur le même sujet.

Le travail du savant chimiste de Munich est très soigné, rempli des discussions les plus habiles, et l'auteur nous apprend qu'avant de le produire, il y a songé pendant près de dix années. Si je voulais en faire, à mon tour, une critique détaillée, il me faudrait suivre M. Liebig, pas à pas, et écrire un Mémoire presque aussi long que le sien. Je n'en ai pas le loisir; mais si j'entends aujourd'hui laisser de côté tout le menu de la question, je m'empresse d'ajouter que c'est pour aller droit aux deux négations dans lesquelles se concentrent toutes les objections du chimiste allemand, et qui d'ailleurs résument le fond du débat.

Dans la première de ces deux négations, M. Liebig conteste formellement que j'aie pu produire de la levûre de bière et la fermentation alcoolique dans un milieu minéral sucré où j'avais semé une quantité extrêmement petite de levûre. Là, en effet, est la pierre de touche de la vérité ou de l'erreur. Pour M. Liebig, on le sait, la fermentation est un phénomène corrélatif de la mort, si je puis ainsi parler. Toute substance, quelle qu'elle soit, et notamment celles que l'on désigne sous le nom de *matières albuminoïdes*, l'albumine, la fibrine, la caséine, etc., ou des liquides organiques qui les renferment, le lait, le sang, l'urine, etc., ont la propriété de communiquer le mouvement, que l'exposition à l'air y détermine, aux molécules d'une matière fermen-

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 18 décembre 1871, LXXIII, p. 1419-1424. — *Annales de chimie et de physique*, 4e sér., XXV, 1872, p. 145-151.

2. Liebig (J. von). Sur la fermentation et la source de la force musculaire. (Lu aux séances de l'Académie royale des sciences de Munich, les 9 mai 1858 et 5 novembre 1869). *Annales de chimie et de physique*, 4e sér., XXIII, 1871, p. 5-49. (*Note de l'Édition.*)

tescible. Celle-ci se résout alors en des produits nouveaux, sans rien prendre à ces substances et sans leur rien fournir de ses propres matériaux. Selon moi, au contraire, les fermentations proprement dites sont toutes corrélatives de la vie, et je crois avoir démontré par des preuves péremptoires qu'une matière fermentescible n'éprouve jamais la fermentation, sans qu'il y ait un échange incessant entre des cellules vivantes qui grandissent ou se multiplient en s'assimilant une partie de la matière fermentescible elle-même.

La doctrine de M. Liebig était en pleine faveur lorsque j'ai démontré en premier lieu que, dans toute fermentation proprement dite, on trouve, d'une manière nécessaire, des organismes spéciaux et que, là où l'on croyait n'avoir affaire qu'à des matières albuminoïdes mortes, la vie apparaît corrélative de la fermentation, les deux phénomènes commençant et finissant en même temps. J'ai démontré, d'autre part, que toutes ces fermentations deviennent impossibles au libre contact de l'air, à la seule condition que l'air ne puisse apporter, dans les matières en présence, les germes organisés que cet air charrie sans cesse au voisinage de la surface de la terre [1]. Néanmoins, et c'est encore un des faits que j'ai établis avec rigueur, ces mélanges fermentescibles dont la fermentation est rendue impossible par l'absence des germes en suspension dans l'air éprouvent une oxydation et une altération chimique sensibles au contact de cet air pur. Ces faits si probants parurent encore laisser des doutes dans quelques esprits prévenus; car rien n'est plus subtil que l'argumentation d'une théorie qui succombe.

Je constituai alors des milieux fermentescibles, dans lesquels il n'existait que trois sortes de substances : la matière pouvant fermenter, des sels minéraux convenablement choisis, en troisième lieu des germes du ferment. Par exemple, j'ai reconnu que le ferment du lactate de chaux était un vibrion. Eh bien! dans une solution de lactate de chaux cristallisé et très pur, j'ajoute des phosphates d'ammoniaque, de magnésie et de potasse, de petites quantités de sulfate

1. L'Académie ne reverra peut-être pas sans intérêt un vase ouvert dans lequel se trouve de l'eau de foin vert depuis le 24 juin 1864, paraphé sur son étiquette par un Membre de cette Académie (M. Balard), et qui est resté limpide sans donner trace de fermentation ni de putréfaction, uniquement parce que le col du vase a été recourbé et que l'ouverture est placée de telle sorte que les poussières en suspension dans l'air ne peuvent tomber dans le liquide. La poussière s'est amassée sur les parois extérieures, mais elle n'a pu arriver jusqu'au liquide. Que l'on remplace l'eau de foin par tous les mélanges fermentescibles, et le résultat est le même; mais vient-on à déposer dans ces liquides une parcelle des poussières qui recouvrent les parois extérieures, dans l'intervalle de quelques jours altérations ou fermentations diverses apparaissent toujours à la suite de cellules vivantes provenant de germes que la poussière a apportés avec elle.

d'ammoniaque, et enfin le germe de ce vibrion ou ce vibrion tout formé [1]. Dans l'intervalle de quelques jours, le lactate a intégralement disparu, et une multitude infinie de vibrions nouveaux ont pris naissance. Tant qu'il existe du lactate de chaux, les vibrions se multiplient et s'agitent dans la liqueur. Une fois que tout le lactate est décomposé, les vibrions tombent comme des cadavres au fond du vase. Les autres fermentations et toutes les levûres qui leur sont propres donnent lieu au même résultat, notamment la levûre de bière, par laquelle j'avais débuté dans cet ordre d'études [2]. Toutefois, avec celle-ci, comme je l'ai expliqué longuement dans le Mémoire original [3], l'expérience est beaucoup plus délicate. Il faut multiplier les essais, parce que d'autres organismes peuvent intervenir et gêner le développement de la levûre que l'on a semée. Certains infusoires, la levûre lactique, des mucédinées diverses, trouvent aussi des aliments appropriés à leur vie dans le milieu minéral, et peuvent empêcher plus ou moins la multiplication du ferment alcoolique. Ce sont ces difficultés qui auront arrêté M. Liebig et qu'il n'aura pas su lever. Mais comment M. Liebig n'a-t-il pas remarqué que ces obstacles mêmes sont une preuve nouvelle de la vérité qu'il conteste? Est-ce que la naissance de la levûre lactique dans le milieu minéral sucré n'a pas, au point de vue général, la même signification que celle de la levûre de bière? Sans doute, le milieu minéral que j'emploie dans cette expérience ne donne pas un développement de levûre de bière comparable, à beaucoup près, avec ce que l'on obtient en semant de la levûre dans du moût de bière, ou dans l'eau sucrée à laquelle on a ajouté des matières albuminoïdes, mais je n'ai pas eu la prétention, comme le voudrait M. Liebig, de donner à l'industrie un moyen pratique de fabriquer en grand la levûre de bière, quoique je sois loin de penser que j'échouerais dans cette entreprise d'une manière nécessaire, si je la tentais, surtout depuis la publication du beau Mémoire de M. Raulin sur la nutrition des mucédinées [4]. Je maintiens, en un mot, la rigoureuse exactitude de mon expérience.

J'arrive maintenant à la seconde négation de M. Liebig. Elle est relative à la fermentation acétique.

L'Académie se rappelle, sans doute, que j'ai établi le premier la

1. *Voir* p. 34-36 du présent volume : Nouveaux faits pour servir à l'histoire de la levûre lactique.

2. *Voir* p. 31-32 du présent volume : Nouveaux faits concernant l'histoire de la fermentation alcoolique.

3. *Voir* p. 51-126 du présent volume : Mémoire sur la fermentation alcoolique.

4. RAULIN (J.). Recherches sur le développement d'une mucédinée dans un milieu artificiel *In* : Études chimiques sur la végétation. *Paris*, 1870, in-8° (Thèse pour le doctorat ès sciences physiques). [*Notes de l'Édition.*]

théorie complète de l'acétification, et qu'il est résulté de mon travail un procédé industriel nouveau de fabrication du vinaigre, appliqué aujourd'hui sur la plus grande échelle. Ses avantages sont considérables, sous le rapport de la rapidité et de l'économie, et la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale a décerné récemment un de ses prix à l'industriel qui a monté la première fabrique de vinaigre par ce procédé.

Le principe en est très simple : toutes les fois que du vin se transforme en vinaigre, c'est par l'action d'un voile de *mycoderma aceti* développé à sa surface. Il n'existe pas, selon moi, dans un pays quelconque, une goutte de vin, aigri spontanément, au contact de l'air, sans que le *mycoderma aceti* n'ait été présent au préalable. Ce petit végétal microscopique a la faculté de condenser l'oxygène de l'air à la manière du noir de platine ou des globules du sang, et de porter cet oxygène sur les matières sous-jacentes. Je crois avoir établi, d'autre part, que dans le procédé de fabrication désigné sous le nom de *procédé allemand*, les copeaux de bois ou les morceaux de charbon placés dans les tonneaux d'acétification ne sont que des supports pour le *mycoderma aceti*, et qu'ils n'interviennent pas dans le phénomène chimique par leur porosité, comme on le croyait avant la publication de mon Mémoire [1].

M. Liebig nie formellement l'exactitude de ces assertions : « Avec l'alcool dilué, qui sert à la fabrication rapide du vinaigre, dit M. Liebig, les éléments de nutrition du *mycoderma* sont exclus et le vinaigre se fait sans leur intervention [2]. » M. Liebig nous apprend, en outre, qu'il a consulté le chef d'une des plus grandes fabriques d'acide acétique et des mieux conduites qui soient en Allemagne, M. Riemerschmied ; que, dans sa fabrique, l'alcool dilué ne reçoit, pendant tout le cours de sa transformation, aucune addition étrangère, et qu'en dehors de l'air et des surfaces de bois et de charbon, rien ne peut agir sur cet alcool ; que M. Riemerschmied ne croit pas à la présence du *mycoderma aceti* ; enfin, M. Liebig n'a vu aucune trace de mycoderme sur des copeaux de bois qui servent depuis vingt-cinq ans dans la fabrique dont il s'agit. Certes, voilà une argumentation qui paraît bien décisive ; on ne comprend pas, en effet, la naissance d'une plante renfermant nécessairement, selon moi, des éléments minéraux, et qui serait

1. Pasteur. Mémoire sur la fermentation acétique. *Annales scientifiques de l'École normale supérieure*, I, 1864, p. 113-158 (5 fig.). — *Voir* tome III des Œuvres de Pasteur : « Études sur le vinaigre et sur le vin. »

2. Liebig (J. von). La fermentation acétique. *Annales de chimie et de physique*, 4e sér., XXIII, 1871, p. 194-212. (*Notes de l'Édition.*)

produite, comme l'affirme M. Liebig, avec des substances qui n'en contiennent pas. Déjà, dans la discussion relative à la levûre de bière, dans la première partie de son Mémoire, M. Liebig prétend que je crois faire de la levûre de bière, qui renferme du soufre, en dehors de la présence d'une combinaison où ce corps simple se trouve engagé. Dans l'un et l'autre cas, M. Liebig se trompe; les cendres de levûre, qui me servent comme milieu minéral, contiennent des sulfates, et quant à l'alcool dilué dont parle M. Liebig, comment n'a-t-il pas remarqué que cet alcool est dilué avec de l'eau ordinaire, qui renferme tous les éléments minéraux nécessaires à la vie du *mycoderma aceti*? Je maintiens donc encore l'exactitude rigoureuse de mes expériences sur la fermentation acétique. Mais comment éclairer le public? Comment sortir de l'embarras que soulèvent ces affirmations contradictoires également honorables? Voici le moyen que j'offre à M. Liebig. Il choisira officieusement, dans le sein de l'Académie, un ou plusieurs de ses Membres, en leur demandant de se prononcer entre lui et moi. En leur présence, et avec des substances que M. Liebig pourra fournir lui-même, je reproduirai les deux expériences capitales dont M. Liebig conteste la vérité. Je préparerai, dans un milieu minéral, autant de levûre de bière que M. Liebig pourra raisonnablement en demander, à la condition toutefois qu'il veuille bien faire la dépense des expériences. S'il le désire même, et toujours à cette condition, je pourrai préparer quelques kilogrammes de chair de vibrions, dont tout le carbone, tout l'azote, tout le soufre, tout le phosphore, toutes les matières grasses, cellulosiques et autres, sortiront exclusivement d'un milieu à principes minéraux cristallisables et de la matière organique fermentescible. Quant à la présence du *mycoderma aceti* sur les copeaux de hêtre, je propose à M. Liebig de prélever, dans la fabrique de Munich précitée, quelques copeaux de bois, de les faire sécher rapidement dans une étuve et de les envoyer tels quels à Paris, à la Commission dont il s'agit. Je me charge de montrer à ses Membres, à la surface de ces copeaux, la présence du mycoderme.

Il y aurait encore un moyen plus simple peut-être de convaincre M. Liebig de la vérité sur ce dernier point. Pour ma part, je n'ai jamais fait l'expérience, mais c'est le propre des théories vraies de donner lieu à des déductions logiques dont la vérité peut être affirmée *a priori*. Que M. Liebig prie M. Riemerschmied de vouloir bien remplir un de ses tonneaux en activité depuis longtemps, et qui donnent lieu chaque jour, comme il nous l'apprend, à l'équivalent en acide acétique de 3 litres d'alcool absolu, de vouloir bien, dis-je, remplir ce tonneau d'eau bouillante pendant une demi-heure au plus;

puis, après avoir fait écouler cette eau au dehors, de remettre en marche le tonneau.

D'après la théorie de M. Liebig, le tonneau devra fonctionner tout comme auparavant, et moi j'affirme qu'il ne fera plus du tout de vinaigre, au moins pendant très longtemps, et jusqu'à ce que de nouveaux mycodermes aient pris naissance à la surface des copeaux. L'eau bouillante aura tué l'ancien champignon.

M. le Président propose à l'Académie de s'engager à supporter la dépense des expériences que pourra nécessiter la solution des questions soulevées par cette discussion. L'Académie adopte la proposition de M. le Président. (*Note des Comptes rendus*) [1].

1. Liebig ne répondit pas aux propositions de Pasteur et de l'Académie. (*Note de l'Édition.*)

DISCUSSION AVEC MM. FREMY ET TRÉCUL SUR L'ORIGINE ET LA NATURE DES FERMENTS

RÉPONSE [1] A M. FREMY [2]]

Je viens de dire à M. Liebig que c'est déjà une expérience très délicate que de faire développer la levûre de bière dans un milieu minéral sucré *que l'on ensemence directement*, parce que le milieu dont il s'agit est bien plus propre, plus fertile pour diverses productions organisées que pour la levûre de bière elle-même. Ces productions envahissent les premières le terrain, et la levûre ne peut plus se former commodément. M. Fremy, plus difficile encore que la nature, veut que je répète l'expérience sans rien semer directement dans la liqueur. M. Fremy sait-il ce qu'il demande? C'est, à peu près, de faire pousser du blé sur un terrain couvert d'autres plantes, ce terrain étant fertile pour ces plantes et ne l'étant pas pour le blé. La question posée par M. Fremy n'est pas une objection. Elle ne dit rien qui soutienne la théorie de M. Liebig, qui est celle que M. Fremy a exposée et accrue dans son ancien Mémoire sur la fermentation lactique [3]. M. Fremy demande la solution d'un problème dont j'ai indiqué le premier la difficulté, et qu'on peut énoncer en ces termes : « Trouver un milieu minéral sucré qui soit tout aussi propre à la naissance et au développement des levûres alcooliques que le moût naturel du raisin lui-même. »

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 18 décembre 1871, LXXIII, p. 1427-1428.

2. Après avoir entendu la lecture de la Note précédente, M. Fremy présenta, sur l'origine des ferments, des observations qui se terminaient ainsi : « Il faut savoir enfin si, comme le pense M. Pasteur, l'air atmosphérique contient réellement les germes de tous les ferments, et si, en les semant dans les liqueurs fermentescibles, ils deviennent la cause des fermentations: quant à moi, tout en admettant dans l'air la présence des corps solides qu'un rayon de soleil m'y fait voir, je suis loin de lui attribuer la fécondité que M. Pasteur lui suppose. » (*Ibid.*, p. 1424-1427.)

3. BOUTRON et FREMY. Recherches sur la fermentation lactique. *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., II, 1841, p. 257-274. (*Notes de l'Édition.*)

Ce problème n'est pas insoluble, mais il exige de longues recherches. En effet, M. Fremy ne peut ignorer qu'avec le jus naturel de la betterave elle-même, ce qu'il me demande serait difficile à faire. Ne sait-il pas, d'ailleurs, qu'il a fallu à M. Raulin [1] six années de recherches les plus assidues pour arriver à constituer un milieu minéral sucré, qui fût autant et même plus fertile pour une moisissure que les milieux organiques naturels ?

Voilà ce que j'ai à répondre, sous le rapport pratique, à la difficulté soulevée par M. Fremy. Quant au point de vue général de notre sujet, cette question de M. Fremy est absolument sans valeur. Une levûre en vaut une autre à l'égard des principes et de la théorie. Il doit lui suffire que je puisse faire l'expérience qu'il réclame, pour la fermentation et la levûre lactique, pour la fermentation et la levûre butyrique, et pour diverses autres levûres et fermentations.

Je regrette de trouver dans la Note de M. Fremy certaines hérésies qu'il me prête gratuitement. Je n'ai jamais dit que « l'air atmosphérique contient en si grande quantité des germes de levûre, que dans toutes les localités, et probablement à toutes les hauteurs, au moment où un suc de fruit est exposé à l'air, il y tombe un germe de levûre qui le fait fermenter ». J'ai démontré le contraire avec une rigueur qui n'a jamais été contestée ; mais je répète que dans une cuve de vendange on introduit forcément dans le jus tous les germes, soit de levûre, soit d'autres productions qui se trouvent à la surface des grains de raisin ou du bois de la grappe ou dans l'air qui est présent pendant la manipulation, et enfin tous les germes qui se trouvent sur les parois des vases employés.

Je termine en ajoutant que je considère comme erronées, autant qu'il est possible de le dire, les assertions suivantes de M. Fremy :

1° Le caséum produit tantôt du ferment alcoolique, tantôt du ferment lactique, tantôt du ferment butyrique.

2° Dans la production du vin, c'est le suc du fruit qui, au contact de l'air, produit les grains de levûre.

Jamais M. Fremy n'a donné la moindre preuve de ces assertions, et toutes mes expériences protestent contre leur exactitude.

1. Raulin (J.). *Loc. cit.* (*Note de l'Édition.*)

OBSERVATIONS [1]
[A PROPOS D'UNE NOTE DE M. TRÉCUL SUR L'ORIGINE DES LEVURES LACTIQUE ET ALCOOLIQUE [2]]

M. Trécul touche à tant de faits dans la Note qui précède, que j'attendrai leur publication au *Compte rendu* pour les discuter. Dès à présent, je puis assurer notre savant confrère qu'il eût trouvé dans les Mémoires que j'ai publiés des réponses décisives sur la plupart des questions qu'il vient de soulever.

Je suis vraiment surpris de le voir aborder la question des générations dites *spontanées*, en n'ayant à son service que des faits aussi douteux et des observations aussi incomplètes. Mon étonnement n'a pas été moindre qu'à la dernière séance, lorsque M. Fremy s'est engagé dans le même débat, n'ayant à produire que des opinions surannées, sans le moindre fait positif nouveau. Aussi m'attendais-je à ce que M. Fremy prît la parole aujourd'hui pour appuyer au moins de quelques considérations les assertions de sa dernière Note, assertions que j'ai si explicitement condamnées dans la courte réponse que je lui ai faite. Qu'il me permette, en attendant, de lui poser une question, puisqu'il a bien voulu m'assurer, lundi dernier, qu'il n'avait aucun parti pris.

M. Fremy confesserait-il ses erreurs, si je pouvais lui démontrer que le suc naturel du raisin, exposé au contact de l'air, privé de ses germes, ne peut ni fermenter, ni donner naissance à des levûres organisées ?

Afin que M. Fremy comprenne bien ma question, d'ailleurs fort claire, et surtout pour qu'il ne me réponde pas qu'il est difficile de juger une expérience lorsqu'elle n'est pas encore publiée, je lui dirai que l'expérience dont il s'agit serait identique au fond à celles que j'ai déjà produites antérieurement sur le sang et l'urine naturels, ainsi qu'il peut s'en convaincre en lisant la page 739 du tome LVI de nos *Comptes rendus* [3], expériences dont M. Fremy, je le crains, ignore

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 26 décembre 1871, LXXIII, p. 1461.

2. Trécul (A.). Recherches sur l'origine des levûres lactique et alcoolique. *Ibid.*, p. 1453-1460.

3. *Voir* p. 165-171 du présent volume : Examen du rôle attribué au gaz oxygène atmosphérique dans la destruction des matières animales et végétales après la mort. (*Notes de l'Édition.*)

l'existence, puisqu'il est impossible de les concilier avec ses opinions. Là, il pourra reconnaître que j'ai démontré, avec certitude, que ces deux liquides, si altérables, peuvent être exposés au contact de l'air privé de ses germes, sans éprouver la moindre fermentation ou putréfaction ; qu'en d'autres termes, le corps humain, hormis le canal intestinal et le poumon, est fermé à l'introduction des germes extérieurs, fait important, sur lequel, parmi d'autres du même ordre, le célèbre docteur Lister a fondé sa merveilleuse méthode chirurgicale. C'est la même expérience et la même déduction logique que j'offre de démontrer à M. Fremy pour les organes des végétaux.

NOTE (1)
[A PROPOS DE LA MÊME NOTE DE M. TRÉCUL (2)]

J'ai pris connaissance du travail que M. Trécul a lu à l'Académie lundi dernier.

Je dois déclarer que je n'y ai rien trouvé qui pût atteindre en quoi que ce soit l'exactitude de mes expériences antérieures, non plus que les conclusions que j'en ai déduites.

SUR LA NATURE ET L'ORIGINE DES FERMENTS
RÉPONSE A LA NOTE DE M. FREMY
INSÉRÉE AU DERNIER COMPTE RENDU (3)

Il y a dans la Note de M. Fremy (4) deux parties très distinctes, l'une qu'on peut appeler *plus ou moins dramatique*, pour employer une expression de M. Fremy ; elle occupe presque toute l'étendue de la Note de notre confrère, mais elle n'a rien de scientifique, et je n'en

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 2 janvier 1872, LXXIV, p. 23.
2. Trécul (A.). Recherches sur l'origine des levûres lactique et alcoolique. *Ibid.*, séance du 26 décembre 1871, LXXIII, p. 1453-1460.
3. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 22 janvier 1872, LXXIV, p. 209-212.
4. Fremy. *Ibid.*, séance du 15 janvier 1872, LXXIV, p. 164-167. (*Notes de l'Édition.*)

parlerai pas. Je passe donc sous silence *la protestation contre les paroles* si justes *de M. Balard, la douloureuse surprise* qu'en a éprouvée M. Fremy, la révélation qui nous est faite *que la science expérimentale est appelée encore à jeter de vives lumières sur l'origine et le rôle des ferments*, l'exhortation adressée aux savants qui étudient les fermentations *de n'éprouver aucun découragement, de continuer et de compléter leurs recherches*, et encore cette étrange déclaration, que leur fait parvenir M. Fremy par la voie des *Comptes rendus*, *qu'ils trouveront toujours à l'Académie des sympathies pour leurs travaux et des voix indépendantes pour en faire ressortir l'importance.* Tout cela est un peu de la mise en scène qui ne mérite pas qu'on s'y arrête. Je vais donc droit aux propositions de M. Fremy qui intéressent le fond du débat.

M. Fremy commence par déclarer qu'il ne veut pas entendre parler de l'origine des moisissures, mais seulement des ferments et de leur rôle : soit. M. Fremy, il est vrai, ne donne aucune raison sérieuse de sa préférence, et quant à moi, je ne veux pas profiter de tout ce que m'accorde ce silence obligé. M. Fremy verra tout à l'heure ce que valent ces réticences quand elles ne s'appuient que sur de simples opinions.

Conformément au désir déjà plusieurs fois exprimé de M. Fremy, je ne parlerai que des ferments, et, pour mieux fixer les idées, de la fermentation à laquelle M. Fremy a fait le plus souvent allusion, c'est-à-dire de la fermentation alcoolique du moût de raisin.

M. Fremy s'exprime ainsi (séance du 18 décembre) :

« Pour ne parler ici que de la fermentation alcoolique, j'admets que, dans la production du vin, c'est le suc même du fruit qui, au contact de l'air, donne naissance aux grains de levûre par la transformation de la matière albumineuse, tandis que M. Pasteur soutient que les grains de levûre ont été produits par des germes (1). »

Dans sa Note du dernier *Compte rendu*, M. Fremy précise un peu plus sa pensée et il dit que « les grains de levûre sont de véritables cellules qui se produisent sous l'influence de l'organisme même, comme toutes les cellules organisées, comme le pollen, comme les grains aleuriques, etc., sans dériver de germes atmosphériques, et cependant leur développement exige le concours de l'air » (2).

Telles sont les propositions de M. Fremy, hypothèses purement gratuites, on le voit. Nulle part, M. Fremy n'a donné la moindre preuve de ses opinions ; il y a même dans leur expression quelque incertitude ;

1. Fremy. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXIII, 1871, p. 1425.
2. Fremy. *Ibid.*, LXXIV, 1872, p. 165. (*Notes de l'Édition.*)

ainsi, on vient de voir par les deux citations précédentes, que, pour M. Fremy, la matière albumineuse se transforme directement en levûre (première citation), ou bien les cellules de levûre se produisent directement sous l'influence de l'organisme (deuxième citation). Comme il importe extrêmement qu'il n'y ait pas d'équivoque, je vais poser la question à mon tour.

Si les cellules de levûre viennent du jus du raisin après qu'il a été exposé à l'air, et non des germes qui sont en suspension dans l'air ou à la surface des grains, ce qui est ma manière de voir, il faut qu'en écrasant des grains de raisin au contact de l'air privé de germes quelconques, il faut, dis-je, dans l'hypothèse de M. Fremy, que la bouillie de ces grains écrasés fermente, ou donne tout au moins naissance à des productions organisées. Est-ce bien là ce que pense M. Fremy? Quant à moi, je n'ai pas besoin d'ajouter que, dans mon opinion, il est impossible qu'il y ait fermentation ou formation de productions organisées dans les conditions que j'indique. Avant d'aller plus loin, j'attends le jugement de M. Fremy.

M. Fremy ne voulant pas me répondre, séance tenante, j'ajoute que l'expérience dont je parle est faite et qu'elle donne le résultat que j'indique.

Ma réponse aux Notes de M. Fremy pourrait se borner à cette réfutation péremptoire de son hypothèse; car s'il est impossible à notre savant confrère, en présence de l'expérience que j'invoque, de maintenir plus longtemps sa manière de voir, quoi de plus évident que la théorie des germes pour expliquer l'origine des êtres microscopiques, puisque M. Fremy ne nie plus aujourd'hui et ne saurait nier l'existence des germes organisés en suspension dans l'air ou répandus à la surface des objets? Mais je veux aller plus loin. Je veux prendre sur la pellicule du grain de raisin ou dans l'air le germe organisé de la levûre, le placer dans le jus de raisin, sous le microscope, et le voir s'organiser en levûre alcoolique du raisin. Rien n'est plus simple aujourd'hui, et je puis ajouter que je l'ai fait et publié depuis l'année 1862 [1], et que mon élève et ami, M. Duclaux, l'a fait avec un grand succès, en 1863, pour une foule de germes en suspension dans l'atmosphère [2]. Toutefois, il était resté dans mon esprit une légère incertitude.

Les cellules que j'avais vues se multiplier sous mes yeux étaient-

1. *Voir* p. 150-158 du présent volume : Quelques faits nouveaux au sujet des levûres alcooliques.

2. Duclaux. Sur la germination des corpuscules organisés qui existent en suspension dans l'atmosphère. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LVI, 1863, p. 1225-1227. (*Notes de l'Édition.*)

elles bien réellement la levûre propre désignée sous le nom de levûre de bière, c'est-à-dire celle qui a servi jadis aux mémorables expériences de Lavoisier? Mes doutes étaient fondés. Je sais aujourd'hui, avec une entière certitude, qu'il n'existe pas dans le moût de raisin en fermentation une seule cellule de la levûre de bière proprement dite.

Je puis démontrer avec rigueur les quatre propositions suivantes :

1° Le germe de la levûre du raisin est le germe du *mycoderma vini* ;

2° La levûre du raisin diffère de la levûre de bière proprement dite celle qu'ont eue entre les mains Lavoisier, Gay-Lussac, Thenard, Cagniard de Latour, à tel point qu'il n'y a pas une seule cellule de cette levûre de bière dans la cuve de vendange;

3° La levûre du raisin est identique à la levûre de bière à fermentation basse des bières dites *allemandes*;

4° Le germe du *mycoderma vini* est un des germes les plus répandus dans l'atmosphère, particulièrement au printemps et dans l'été. Ce mycoderme a deux modes de vie essentiellement distincts : MOISISSURE, il s'empare de l'oxygène de l'air, le fait servir à l'assimilation des matériaux de sa nutrition, et le rend à l'état d'acide carbonique; FERMENT, il se développe à l'abri de l'air et devient la levûre alcoolique du raisin.

Et, pour le dire en passant, voilà que M. Fremy, qui ne voulait pas entendre parler de moisissures, s'y trouve ramené forcément par moi, ou mieux par la puissance des faits contre laquelle ne peuvent prévaloir nos faibles conceptions.

Avais-je donc besoin de la nouvelle expérience sur le jus naturel du raisin dont je viens de parler pour corroborer l'exactitude de mes travaux antérieurs et des conclusions que j'en ai déduites? Pas le moins du monde; car cette même expérience, je l'ai faite en 1863 sur les liquides les plus fermentescibles et les plus propres à nourrir certains organismes microscopiques, le sang et l'urine [1]. Voici un vase dans lequel j'ai introduit, au contact de l'air pur privé de ses germes, du sang, pris directement sur un chien en pleine santé. C'était le 3 mars 1863. Or ce sang n'a éprouvé aucune putréfaction quelconque et n'a fourni aucune production organisée microscopique.

Ni M. Fremy, ni M. Trécul ne paraissent avoir connaissance de mes observations de 1862 et de 1863 que je viens de rappeler.

1. *Voir* p. 165-171 du présent volume : Examen du rôle attribué au gaz oxygène atmosphérique dans la destruction des matières animales et végétales après la mort. (*Note de l'Édition.*)

RÉPONSE [1] A M. FREMY [2]

Je commence par déclarer à l'Académie que j'accepte, sans réserve, la proposition faite par M. Dumas [3] dans la dernière séance. Déjà, a deux reprises, j'ai sollicité le jugement direct de l'Académie : une première fois, lorsqu'il s'est agi des contradictions de MM. Pouchet et Joly, et, tout récemment, lors de ma réponse aux critiques de M. Liebig. Je suis d'accord avec ces précédents, en soumettant de nouveau mes expériences à l'examen d'une Commission, dans la forme indiquée par M. Dumas ou dans telle forme qu'il plaira a l'Académie de déterminer.

M. Fremy, je regrette d'être obligé d'en faire la remarque dès l'abord, débute dans sa discussion par une suite de pétitions de principes. Exemple :

« Ces transformations, dit M. Fremy, si variées et si nombreuses, produites par les fermentations, ne s'opèrent pas spontanément; elles

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 12 février 1872, LXXIV, p. 403-409.

2. Fremy. Recherches sur les fermentations (1re Communication). *Ibid.*, séance du 29 janvier 1872, LXXIV, p. 276-289. — Recherches sur les fermentations (2e Communication). *Ibid.*, séance du 5 février 1872, LXXIV, p. 355-366.

3. A la suite de la seconde communication de M. Fremy (5 février 1872), M. Dumas (*Ibid.*, p. 366) avait fait les remarques et la proposition suivantes :

« Après avoir écouté avec grande attention le Mémoire de notre excellent confrère, je ne puis que réserver mon opinion.

« Les appareils que M. Fremy place sous les yeux de l'Académie ne reproduisent pas ceux dont M. Pasteur s'est servi; je ne retrouve pas non plus, je l'avoue, dans l'exposé de ses expériences, du moins tel qu'il a été lu devant nous, l'indication des soins délicats et minutieux, indispensables à leur succès.

« J'ai fait partie de la Commission [de 1864] devant laquelle ont été répétées les expériences de M. Pasteur ; je sais de quelles précautions elle s'est entourée dans ses propres épreuves, et je suis, pour une part du moins, garant des conclusions qu'elle en a tirées. Il m'est donc permis, en toute courtoisie, d'exprimer un vœu et de faire une proposition qui me semblent de nature à permettre que la vérité se fasse jour.

« Voici mon vœu : Je voudrais écarter de ce débat les personnes, les opinions, les interprétations, les doctrines.

« Voici ma proposition : Il s'agit d'un fait; car tout peut se résumer en un fait. M. Pasteur l'affirme; la Commission l'a confirmé; M. Fremy le nie-t-il ? Eh bien ! que l'expérience soit répétée par nos deux confrères, devant tels membres de l'Académie qu'elle voudra désigner, mais répétée contradictoirement, et chacun d'eux ayant le droit d'en discuter les détails, en pleine liberté.

« Jusque-là, comme je ne retrouve, et je suis prêt à m'en expliquer, ni dans les conditions où notre confrère M. Fremy s'est placé, ni dans les appareils qu'il met sous nos yeux, les conditions et les appareils dont M. Pasteur et la Commission ont fait usage, je ne puis me décider à accepter ses conclusions. » (*Notes de l'Édition.*)

exigent l'intervention d'agents spéciaux CRÉÉS PAR L'ORGANISME et que l'on désigne sous le nom de ferments. »

Mais, ce qui est en discussion, est précisément de savoir si les ferments sont CRÉÉS PAR L'ORGANISME ! M. Fremy affirme donc dans sa définition le principe même qui est en question. Autre exemple :

« Lorsque les corps hémiorganisés, dit M. Fremy, restent dans les conditions normales, c'est-à-dire à l'abri de l'air et dans l'intérieur des tissus, ils concourent naturellement au développement des organes. Mais, dès qu'ils reçoivent l'influence de l'air, leurs fonctions changent ; et d'éléments de nutrition qu'ils étaient d'abord, ils deviennent des agents de décomposition ; en un mot, ils se changent en ferments. »

Mais nous discutons sur la question de savoir si les corps albumineux se changent en ferments organisés. M. Fremy dit *oui* ; moi, je dis *non* ; sa définition comprend donc encore le principe même qui est en question.

Je pourrais citer bien d'autres exemples de ce qu'on appelle, selon la logique, un faux raisonnement, dans les communications de M. Fremy, qui n'en condamne pas moins mes opinions parce qu'elles ne s'accordent pas avec ses définitions.

« Qu'est-ce que notre confrère entend donc, s'écrie M. Fremy, par cette expression si vague et si élastique de fermentation proprement dite ? »

Je le crois bien, M. Fremy a adopté une définition des ferments qui exclut ceux dont je me suis occupé, quoiqu'ils soient seuls en cause, car je n'ai jamais écrit une seule ligne sur la diastase, la pectase, la synaptase, etc. J'appelle *fermentations proprement dites* M. Fremy doit le savoir mieux que personne les fermentations que j'ai étudiées et qui comprennent toutes les fermentations les mieux caractérisées, celles qui sont vieilles comme le monde, celles qui donnent le pain, le vin, la bière, le lait aigri, l'urine ammoniacale, etc., etc., celles dont les ferments sont, d'après mes recherches, des êtres vivants qui naissent et se multiplient pendant l'acte de la fermentation.

Ai-je donc été un novateur bien hardi pour avoir ajouté au mot *fermentations* la qualification de *proprement dites*, lorsque j'ai eu à caractériser, en le circonscrivant, le progrès dû à mes recherches, progrès consistant dans la découverte remarquable d'êtres vivants dans toutes les fermentations qui m'ont occupé ? Et ce reproche me vient d'un confrère qui a inventé, lui, tant de mots nouveaux pour représenter des choses tout à fait indéterminées, la pectase, la pectose, la parapectine, la métapectine, l'acide pectosique, l'osséine, la conchioline, l'ichtine, l'ichtidine, l'ichtuline, l'acide gommique, etc., etc.

Considérons la fermentation lactique, puisque M. Fremy a déclaré que c'était une de celles qui avaient ses préférences. Une des hypothèses de M. Fremy est que le caséum est le ferment qui produit la fermentation lactique du lait.

M'étant occupé, après lui, de cette fermentation, j'ai trouvé, contrairement à son opinion, que le caséum n'est pas du tout le ferment de cette fermentation, qu'il est tout au plus l'aliment azoté de ce ferment, lequel est un petit végétal microscopique naissant dans le lait après sa sortie du pis de la vache, s'y nourrissant, s'y multipliant, et que c'est parallèlement à la vie de ce champignon qu'il y a fermentation lactique ; qu'enfin, le germe de cet être vient des poussières sur les objets ou en suspension dans l'air. C'est si peu le caséum qui est le ferment du lait, que j'ai produit la fermentation lactique en supprimant tout à fait le caséum et en le remplaçant simplement par un sel d'ammoniaque cristallisé. Avant tous ces progrès dus à mes recherches, M. Fremy était excusable de confondre la fermentation lactique avec la fermentation diastasique, mais aujourd'hui !

M. Fremy me dit : « M. Pasteur voudrait-il établir une différence entre la fermentation lactique et la fermentation diastasique ? »

Et comment pourrais-je faire autrement, puisque, indépendamment d'autres différences profondes, la diastase n'est pas un être vivant, et que le ferment lactique en est un. D'ailleurs, qu'importe tout ceci ! La diastase n'est pas en cause ; nous avons à déterminer si le ferment lactique, être vivant, a pour origine le caséum du lait ou un germe venant des poussières de l'air.

M. Fremy parle de mes théories ; mais mes opinions ne sont que l'expression même des faits que j'ai observés. Je ne fais pas d'hypothèses. On disait, avant mes recherches, et M. Fremy a répété encore, il y a quelques jours : « Le caséum, les matières albuminoïdes sont tantôt ferment alcoolique, tantôt ferment lactique, tantôt ferment butyrique. » Pourquoi affirmé-je que c'est une erreur ? Pour me borner à une seule preuve, c'est que je produis les fermentations dont je viens de nommer les ferments sans emploi quelconque de matières albuminoïdes, tout au moins les deux dernières de ces fermentations, et j'ai rendu compte de la difficulté qu'on rencontre pour obtenir la première dans les conditions dont il s'agit.

Je soutiens aussi que les ferments précédents ont leurs germes dans les poussières de l'air. Mais, n'est-ce pas une conclusion forcée de mes expériences, puisque, quand je supprime ces poussières, toutes ces fermentations n'apparaissent plus, et que, d'autre part, si je laisse tomber dans des matières fermentescibles ces mêmes poussières,

recueillies, par exemple, sur une bourre d'amiante, la fermentation se déclare absolument comme dans les conditions naturelles.

Il y a des caractères très simples auxquels on reconnait les théories erronées. Généralement elles ne peuvent prévoir aucun fait nouveau, et, toutes les fois qu'un fait de cette nature est découvert, ces théories sont obligées, pour en rendre compte, de greffer une hypothèse nouvelle sur les hypothèses anciennes. Ainsi, je trouve que le ferment lactique n'est pas du caséum, que c'est un être vivant. Comment vais-je accommoder, se dit M. Fremy, la théorie de M. Liebig, que j'ai suivie pas à pas dans mon ancien Mémoire sur la fermentation lactique (1), avec ce fait nouveau? M. Fremy est sorti d'embarras en ajoutant une hypothèse nouvelle à celle qui fait le fond de la théorie de Liebig. Il ne dit plus, comme autrefois : le caséum est le ferment lactique; il dit : le caséum est un corps *hémiorganisé* qui a la propriété de s'organiser à l'air pour former le petit champignon lactique de M. Pasteur.

Poursuivons : je découvre un autre fait nouveau, à savoir, que le ferment butyrique est un vibrion. Vite, une nouvelle hypothèse : le caséum hémiorganisé, dit M. Fremy, peut également s'organiser en vibrion. Je découvre encore un autre fait nouveau : l'alcool se transforme à l'air en acide acétique, par l'influence du *mycoderma aceti*. Eh bien, dit M. Fremy, qu'à cela ne tienne : mon caséum hémiorganisé aura la complaisance de s'organiser en *mycoderma aceti*. Et M. Fremy est si bien la dupe inconsciente de toute cette logomachie, que l'Académie a pu voir avec quelle bonne foi notre confrère a repoussé l'observation si vraie de M. Wurtz (2). Quoi, dit-il, moi le plagiaire de Liebig? Mais, n'ai-je pas couronné la théorie de Liebig de l'hypothèse de l'hémiorganisme ?

Le propre des théories vraies, au contraire, c'est d'être l'expression même des faits, d'être commandées et dominées par eux, et de prévoir sûrement des faits nouveaux parce qu'ils sont enchaînés aux premiers. En un mot, le propre de ces théories est la fécondité. C'est le caractère que M. Balard, avec sa bienveillance toute paternelle à mon égard, a voulu faire ressortir en parlant de mes recherches (3). Il

1. Boutron et Fremy. Recherches sur la fermentation lactique. *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., II, 1841, p. 257-274.

2. Voir *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXIV, 1872, p. 292-293.

3. Dans la séance du 5 février 1872, M. Balard, après la Note de M. Fremy, avait fait ces remarques (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXIV, 1872, p. 366-367) :

« ... Je n'ai pas publié d'expériences sur les fermentations, mais j'en ai fait et j'ai appris de M. Pasteur de quelles précautions il faut s'entourer, pour qu'elles soient concluantes. Aussi, en entendant décrire celles dont notre confrère vient de nous entretenir, il s'est présenté, à

s'agissait bien, dans la parole convaincue de M. Balard, de vains éloges à M. Pasteur! C'est la fécondité des idées qui me servent de guide, opposée à la stérilité de la doctrine allemande défendue par M. Fremy, que M. Balard a proclamée justement comme une preuve de la vérité et une lumière dans cette discussion.

J'en aurais fini avec la première communication de M. Fremy, si je n'y trouvais quelques propositions expérimentales auxquelles M. Fremy paraît attacher une grande importance. Voici une de ces propositions :

« Les phénomènes véritables de fermentation se manifestent donc toujours avant l'apparition des moisissures. »

J'oppose à cette proposition la dénégation la plus absolue, et si M. Fremy le désire, je lui indiquerai le moyen très simple d'avoir toujours des moisissures avant l'apparition des fermentations.

Voici une autre assertion de M. Fremy :

« La fermentation alcoolique peut se produire avec les substances azotées les plus diverses, et notamment avec la gélatine, composé artificiel (*sic*) soluble dans l'eau et dénué par conséquent de toute structure organique proprement dite. »

J'oppose encore à cette proposition une dénégation absolue.

Je ne puis pas abandonner cette première communication de M. Fremy sans faire remarquer qu'elle contient une page beaucoup plus sérieuse que toutes les autres. On comprend, à sa lecture, combien M. Fremy était préoccupé en la rédigeant, et quel trouble il y avait alors dans son esprit. Cette page commence ainsi :

« La réponse qui m'a été faite dans la dernière séance, par M. Pasteur, est beaucoup plus importante que les précédentes; je me réserve de la discuter longuement dans la suite de ce débat... »

Il s'agit, en effet, de l'expérience sur le jus naturel de raisin, qui, mis au contact de l'air privé de germes, doit forcément, dans l'opinion de M. Fremy, entrer en fermentation et, au contraire, ne pas fermenter du tout, dans la théorie des germes extérieurs. La vraie question était là, et l'on s'étonne à bon droit que M. Fremy ait écrit douze pages d'explications avant d'en venir à cette expérience décisive. M. Fremy me répond : je ne puis discuter cette expérience : vous n'avez pas dit comment vous la faisiez. Sur ce point, je veux encore me taire : M. Fremy me permettra de choisir mon heure. Mais voici une autre

moi, comme à M. Dumas, une foule d'objections graves. Mais je ne veux pas entrer dans le débat. M. Pasteur, rétabli, le fera lui-même, s'il le juge nécessaire, et certes, il n'a pas besoin de défenseur, comme le dit très bien M. Fremy. Il n'aurait pas non plus besoin de panégyristes, s'il ne rencontrait quelquefois des contradicteurs disposés à nier ou à amoindrir ce qu'il a fait de grand pour la science et d'utile pour le pays... » (*Notes de l'Édition*.)

expérience identique, faite sur le sang. Assurément, M. Fremy ne dira pas que l'altération du sang au contact de l'air ne rentre pas dans sa définition générale des fermentations.

D'un autre côté, si l'hémiorganisation existe quelque part, ce doit être à coup sûr dans le sang naturel pris sur l'animal vivant en pleine santé.

M. Pasteur décrit ici les dispositions de ses expériences de 1863 sur le sang frais [1]; puis il continue ainsi :

Dans la prochaine séance, je discuterai les huit expériences de la dernière communication de M. Fremy.

En terminant, j'adresse mes remerciements à ceux de nos confrères qui, en mon absence, ont bien voulu me prêter l'appui de leurs convictions. Devant leurs manifestations et les miennes, M. Fremy se pose en victime. Cependant, il ne devrait pas oublier que, si nos répliques le troublent, c'est lui qui les a provoquées.

Au moment où je prenais ici, contre M. Liebig, la défense d'une opinion qui, après tout, appartient à la science française, pourquoi M. Fremy s'est-il fait, d'une manière au moins inopportune, le champion de la science allemande, avec laquelle j'ai hâte de reprendre un débat dont je me suis distrait à regret ?

En attendant, je me mets de nouveau à la complète disposition de l'Académie. Je suis prêt à répéter devant mes confrères toutes mes expériences. Ma situation est pourtant bien autre que celle de M. Fremy. Pour notre confrère, qui prétend que les matières fermentescibles trouvent en elles-mêmes leurs ferments, chaque cause d'erreur bénéficie à son opinion. Pour moi, qui soutiens qu'il n'y a pas de fermentations spontanées, je suis tenu d'éloigner toute cause d'erreur et toute influence perturbatrice. Je ne puis maintenir mon sentiment qu'au moyen des expériences les plus irréprochables ; le sien, au contraire, profite de toute expérience insuffisante, et c'est là seulement qu'il a trouvé son appui. C'est ce que j'espère démontrer d'une manière palpable dans une des prochaines séances.

M. Le Verrier prie M. Pasteur de vouloir bien compléter sa démonstration en disant ce qui arrive quand on brise le col d'un des ballons dans lequel le sang est resté intact.

M. Pasteur répond à M. Le Verrier que, dans tous les cas, il y a com-

1. *Voir* p. 165-171 du présent volume : Examen du rôle attribué au gaz oxygène atmosphérique dans la destruction des matières animales et végétales après la mort. (*Note de l'Édition*.)

mencement d'altération du sang dans l'intervalle de vingt-quatre ou quarante-huit heures.

M. Pasteur ajoute en outre ce qui suit :

L'expérience sur le sang frais sortant de l'artère ou de la veine de l'animal vivant peut être répétée avec le même succès sur l'urine naturelle. M. Fremy objecte que l'expérience sur le sang n'est pas démonstrative : bien entendu, il ne peut en donner aucune raison sérieuse. Mais, pour l'urine, il ne peut soutenir que ce n'est pas un liquide fermentescible proprement dit, puisqu'il est démontré que c'est un ferment organisé vivant qui provoque la fermentation ammoniacale. Mais je veux aller plus loin. Quoique je n'en aie jamais fait l'épreuve, je déclare ici à M. Fremy que, quand il le voudra, je répéterai l'expérience que je viens de décrire pour le sang et l'urine, EN ME SERVANT DU LAIT NATUREL PRIS DANS LE PIS DE LA VACHE, et voici ce que j'affirme par avance : ce lait gardera indéfiniment son alcalinité au contact de l'air pur, et ne donnera lieu à aucune fermentation quelconque ; il éprouvera simplement une oxydation chimique directe qui donnera un léger goût et une odeur faible de suif à la matière grasse.

En résumé, j'affirme que les quatre liquides les plus altérables de l'économie animale et végétale, à savoir : le sang, l'urine, le lait, le jus de raisin, sont incapables d'éprouver aucune fermentation au contact de l'air pur, parce que le corps des animaux et des végétaux est fermé à l'introduction des germes extérieurs de ferments, dans les conditions de santé et de vie normales. Lorsque cette introduction est possible, il en résulte le plus souvent des états maladifs, parfois terribles.

Je pourrais donc reproduire la question que j'ai faite antérieurement à M. Fremy, sous cette nouvelle forme :

M. Fremy confesserait-il ses erreurs si je démontrais que du lait naturel, pris dans le pis de la vache (PAR UN MODE OPÉRATOIRE IDENTIQUE A CELUI QUE JE VIENS DE DÉCRIRE DE VIVE VOIX POUR LE SANG) et mis au contact de l'air privé de germes, ne peut éprouver aucune fermentation quelconque ?

NOUVELLES OBSERVATIONS [1] AU SUJET DES COMMUNICATIONS DE M. FREMY

Ainsi que j'en ai pris l'engagement, je vais dire rapidement ce que je pense des expériences que M. Fremy a publiées dans la séance du 5 février dernier [2].

Je remarque tout d'abord que, sur les huit expériences, il y en a six faites au libre contact de l'air ordinaire, sans que notre confrère ait pris la moindre précaution pour détruire ou pour éloigner les poussières en suspension dans l'air ou celles qui sont répandues à la surface des parois des vases et des matières dont il s'est servi. Ces six expériences pourraient donc être invoquées par moi, non comme des preuves de mon opinion, parce qu'elles ne réunissent pas les conditions d'expériences délicates et probantes, mais tout au moins comme incapables d'infirmer, en quoi que ce soit, les résultats de mes recherches.

Je n'en ferai donc qu'une critique très brève, en m'attachant d'ailleurs, soit aux termes mêmes de la lecture de M. Fremy, soit à ceux de sa Note rectifiée telle qu'elle a paru au *Compte rendu*.

1re *expérience de M. Fremy*. — « Le but de cette expérience, dit M. Fremy, a été surtout de constater que la levûre sort des grains d'orge mêmes. J'introduis dans un flacon 100 grammes d'orge germée ; je lave cette orge à plusieurs reprises avec de l'eau distillée ; je la mets ensuite en contact avec de l'eau sucrée ; le flacon est maintenu à la température de 25°. »

M. Fremy dit en propres termes : « On voit chaque grain de levûre sortir de l'intérieur de l'orge. » Et comment donc M. Fremy a-t-il pu faire cette singulière observation ? Est-ce à l'œil nu qu'il a vu les choses qu'il décrit, ou au microscope ? Il ne s'en explique pas ; mais qu'il me suffise de rappeler à l'Académie qu'il s'agit ici d'une levûre dont les articles ont seulement 1 à 2 millièmes de millimètre de diamètre.

M. Fremy aurait eu un moyen bien simple de s'assurer de ce qui se

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 19 février 1872, LXXIV, p. 505-508.

2. Fremy. Recherches sur les fermentations (2e Communication). *Ibid.*, séance du 5 février 1872, LXXIV, p. 355-366. (*Note de l'Édition.*)

passe dans cette expérience. Après avoir laissé les grains d'orge avec l'eau sucrée pendant un temps relativement très court, il aurait pu décanter la liqueur, éloigner tous les grains d'orge et voir qu'alors, en l'absence de ces grains, il y avait fermentation, avec production des mêmes organismes que dans son expérience brute. Ce n'est donc pas de l'intérieur des grains d'orge que sort la levûre, comme le veut M. Fremy, puisqu'elle se produit quand les grains d'orge sont absents [1].

3e *expérience de M. Fremy.* — M. Fremy ajoute de la levûre de bière à de l'eau sucrée mêlée à de la craie en poudre ; il en résulte une fermentation alcoolique et lactique, et notre confrère en déduit que la levûre de bière peut à volonté donner la fermentation alcoolique et la fermentation lactique. Rien n'est plus erroné que cette interprétation. L'expérience dont parle M. Fremy est précisément une de celles que j'ai employées jadis moi-même pour montrer avec quelle facilité la levûre lactique prend naissance dans un milieu sucré auquel on a ajouté de la craie. Ce n'est pas du tout, comme le dit M. Fremy, la levûre de bière qui produit la fermentation lactique ; de la levûre lactique naît pendant la fermentation, et c'est elle, elle seule qui détermine la formation de l'acide lactique.

4e, 5e et 6e *expériences de M. Fremy.* — On voit bien, à la lecture de ces trois expériences, que M. Fremy n'y attache pas grand intérêt. Je les passerai sous silence, à moins, toutefois, que M. Fremy ne désire que je m'arrête à les critiquer [2]. Je réserve néanmoins la seconde forme que M. Fremy donne à sa sixième expérience, parce que notre confrère s'est attaché ici à détruire les germes que pouvait apporter le lait, matière fermentescible dont il s'est servi. Je vais y revenir dans un instant.

7e *expérience.* — Elle porte sur le moût de raisin. Faite au contact de l'air ordinaire, au contact des poussières de la surface des grains de raisin, c'est encore une de ces expériences confuses qui ne peuvent conduire à un résultat dégagé d'incertitude. Je suis surpris que notre confrère s'étonne que le moût de raisin, filtré à plusieurs reprises, mette plus de temps à entrer en fermentation que le moût brut. Si, comme je le soutiens, la levûre du moût de raisin provient des germes qui sont à la surface des grains de raisin, quoi de plus naturel qu'une filtration soignée, qui doit éloigner ces germes, au moins en grande partie, retarde la fermentation du moût filtré ? C'est le contraire qui aurait lieu de surprendre.

1. Pasteur ne fit pas la critique de la deuxième expérience de M. Fremy, sans doute parce que cette expérience portait, comme la première, sur l'orge.

2. Ces expériences portent sur le lait. (*Notes de l'Édition.*)

8e *expérience.* — Cette huitième expérience de M. Fremy offre un intérêt particulier. Je n'hésite pas à déclarer qu'elle constitue une importante découverte physiologique. En effet, M. Fremy prend une moisissure qui a poussé, par exemple, dans une solution d'acide tartrique ; il aperçoit dans les tubes du mycelium de cette moisissure de petits corps ronds ; il broie cette moisissure dans de l'eau sucrée, et il assiste alors, nous dit-il, à la transformation de ces petits corps en véritables cellules de ferments, surtout des ferments lactique et butyrique, dit M. Fremy. Ce résultat, s'il était exact, ne contredirait pas mon opinion, puisque M. Fremy admet, au moins je le pense, que la moisissure de l'acide tartrique a pris son germe dans l'air atmosphérique. Ce serait un fait du même ordre que celui que j'ai publié en 1862 au sujet du *mycoderma vini*, qui peut se transformer en levûre alcoolique [1]. Toutefois, et jusqu'à ce que M. Fremy ait publié les preuves de cette formation des levûres lactique et butyrique à l'aide de petits corps sortis des tubes de mycelium d'une moisissure, j'en conteste l'exactitude d'une manière absolue.

Voilà ce que je pense, en gros, des six expériences que M. Fremy a faites au libre contact de l'air, expériences qui ne peuvent rien prouver, soit pour, soit contre sa manière de voir. Ce sont des fermentations, comme on en a fait de tout temps, où se trouvent réalisées certaines conditions propres à la naissance et à la multiplication des ferments, mais qui ne peuvent, en quoi que ce soit, servir à résoudre la question de l'origine de ces organismes.

J'ai dit que, parmi les huit expériences de M. Fremy, il y en avait deux imitées de celles que j'ai publiées, et où M. Fremy s'est attaché à détruire les germes que l'air et les poussières à la surface des objets pouvaient apporter ; dans ces expériences, néanmoins, notre confrère a vu naître des ferments vivants. Ici donc, il y a contradiction formelle avec les résultats que j'ai publiés.

La première de ces deux expériences porte sur l'orge germée, et la seconde sur le lait.

L'expérience sur le lait est la seule qui ait une apparence de valeur, car M. Fremy a vu se produire des organismes dans du lait qui avait subi une température de 115°, et j'ai affirmé jadis que cette température était plus que suffisante pour rendre le lait inaltérable lorsqu'on l'exposait ensuite au contact de l'air pur. M. Fremy a montré à l'Académie, en mon absence, des vases contenant du lait

1. *Voir* p. 150-158 du présent volume : Quelques faits nouveaux au sujet des levûres alcooliques. (*Note de l'Édition.*)

altéré, quoique ce lait eût été préparé dans les conditions que je rappelle.

Je réponds que l'expérience de M. Fremy a été mal faite, car voici un vase dont l'ouverture du col effilé est tournée vers le bas, et où le lait reste intact, quoiqu'il se trouve depuis une douzaine de jours à une température comprise, jour et nuit, entre 28 et 30°. Un vase pareil, qui ne s'était pas altéré au bout de plusieurs jours, a été découvert, et, le surlendemain, on pouvait y distinguer au microscope au moins trois sortes d'organismes. Aujourd'hui le lait est caillé par suite des fermentations que ces organismes ont provoquées.

J'ai dit que l'expérience sur les grains d'orge germés était sans valeur, car j'ai donné, dans mon Mémoire de 1862 [1], une méthode générale pour préparer des liquides propres à s'altérer après une ébullition à 100° ; mais ces mêmes liquides demeurent sans altération au contact de l'air pur, si l'ébullition a lieu à 100 et quelques degrés. Le lait est dans ce cas. J'ai répété dans ces conditions cette expérience sur les grains d'orge, et la liqueur n'a pas encore donné la moindre apparence de fermentation alcoolique, ni lactique, ni butyrique, quoique les vases soient dans une étuve dont la température reste comprise, jour et nuit, entre 28 et 30°.

M. Pasteur, après avoir terminé sa lecture, dépose sur le bureau de l'Académie deux tubes contenant l'un du moût de raisin, l'autre du moût d'orange, moûts naturels, exposés au contact de l'air privé de ses germes. Ces liquides n'éprouvent aucune altération et ne donnent naissance à aucun organisme, ni ferments, ni moisissures. Pourtant, le premier tube, celui du moût de raisin, est à une température de 30° depuis le 13 janvier, et celui de l'orange, à la même température depuis le 8 février.

Sur la demande que lui en adresse M. Fremy, M. Pasteur fait don de ces deux tubes à son confrère, en le priant d'en observer le contenu au microscope et de s'assurer à la fois de la *présence* de l'air atmosphérique, notamment du gaz oxygène, et de l'absence de tout organisme.

Pendant le comité secret, qui a suivi la séance, M. Pasteur a fait chercher du papier de tournesol rouge, a brisé, en présence de M. Fremy, le ballon de lait conservé qu'il venait de présenter à l'Académie comme preuve de l'erreur grave commise par M. Fremy dans sa sixième expérience, et il a reconnu que ce lait était encore alcalin comme le lait frais naturel. M. Fremy a même goûté ce lait, et s'est trouvé dans la nécessité de déclarer qu'il n'était pas du tout altéré.

1. *Voir* p. 210-294 du présent volume : Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées. (*Note de l'Édition.*)

NOUVELLES EXPÉRIENCES POUR DÉMONTRER QUE LE GERME DE LA LEVURE QUI FAIT LE VIN PROVIENT DE L'EXTÉRIEUR DES GRAINS DE RAISIN[1]

J'ai préparé quarante ballons à cols sinueux du genre de ceux qui m'ont servi à démontrer que l'altération des matières organiques est due à des germes d'organismes microscopiques en suspension dans l'atmosphère, avec cette différence, toutefois, que la tubulure du ballon étirée en col de cygne n'est pas seule. Chaque ballon porte une seconde tubulure droite fermée par un tube en caoutchouc muni d'un bouchon de verre. Dans les quarante ballons j'introduis du moût de raisin filtré parfaitement limpide, et qui, comme tous les liquides un peu acides que j'ai employés autrefois, demeure intact après son ébullition, quoique l'extrémité du col sinueux soit ouverte.

Dans quelques centimètres cubes d'eau, je lave un fragment d'une grappe de raisin. Au microscope, je constate l'existence d'une multitude de corpuscules organisés, ressemblant, à s'y méprendre, soit à des spores de moisissure, soit à une levûre alcoolique, soit enfin à du *mycoderma vini*[2]. Cela fait, dans dix des quarante ballons, je ne sème rien ; dans dix autres, je dépose, à l'aide de la seconde tubulure droite dont j'ai parlé, quelques gouttes du liquide d'eau de lavage des grains de raisin. Dans une troisième série de dix autres ballons, je dépose quelques gouttes du même liquide, mais préalablement porté à l'ébullition et refroidi.

Enfin, dans les dix ballons restants, j'introduis une goutte de jus de raisin pris dans les grains mêmes, non écrasés. A cet effet, la seconde tubulure droite est un peu recourbée et effilée en pointe fine fermée à la lampe. Cette pointe, à laquelle on a fait au préalable un trait de lime, est enfoncée dans un grain de raisin et, lorsqu'on sent que la pointe effilée touche au support sur lequel se trouve le grain, on presse légèrement, de façon à briser cette pointe au trait de lime ; alors, si

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 7 octobre 1872, LXXV, p. 781-782.

2. Il existe surtout, parmi ces corpuscules, des groupes de cellules caractérisés par une couleur jaune, réguliers ou irréguliers, dont l'importance est capitale dans le sujet qui nous occupe. Très prochainement, j'en présenterai l'étude à l'Académie.

l'on a eu soin de déterminer une faible diminution de pression de l'air du ballon, une goutte du jus intérieur du grain de raisin pénètre dans le ballon ; on retire la pointe effilée et on la ferme à la lampe immédiatement [1].

Voici les résultats de ces quatre séries d'expériences comparatives. La première série ne donne aucune production ; le moût de raisin reste intact [2], et il pourra rester tel pendant des années ; dans la deuxième série, on voit apparaître des flocons de *mycelium* et de la levûre de bière, et les jours suivants du *mycoderma vini*. Au bout de quarante-huit heures, les dix ballons sont en pleine fermentation si l'on opère à la température de l'été. La troisième série n'a pas donné un seul ballon altéré, le moût est resté limpide comme dans les dix ballons de la première série et il restera tel indéfiniment. Enfin, dans la quatrième série, un seul ballon s'est altéré par suite des causes d'erreur inévitables dans des expériences aussi délicates.

La conclusion de ces expériences n'est pas douteuse. La levûre qui fait fermenter le raisin dans la cuve de vendange vient de l'extérieur et non de l'intérieur des grains.

RÉPONSE [3] A M. FREMY [4]

Les expériences dont je viens de rendre compte à l'Académie n'ont d'autre prétention que de prouver rigoureusement que le jus naturel du raisin n'est pas susceptible de fermenter par lui-même, qu'il n'entre en fermentation qu'à la suite de l'introduction des germes de levûre, déposés à l'extérieur des grains, qu'en un mot ni les matières albuminoïdes du jus de raisin, ni les cellules de son parenchyme ne sont capables de se transformer en cellules de levûre, au contact de l'oxygène de l'air atmosphérique, faits qui sont diamétralement contraires aux opinions que M. Fremy a émises, sans preuves à l'appui, devant l'Académie.

1. Sur un exemplaire des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, Pasteur a noté au crayon en marge les mots suivants : « Cette diminution de pression s'obtient facilement par l'artifice suivant. On échauffe un peu avec les mains le verre des parois du ballon. »

2. Sur le même exemplaire, Pasteur a effacé au crayon « reste intact » et a remplacé ces mots par : « ne s'altère pas. »

3. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 7 octobre 1872, LXXV, p. 784.

4. Fremy. Sur la génération des ferments. *Ibid.*, p. 782-784. (*Notes de l'Édition.*)

M. Dumas demande à M. Pasteur de compléter son importante communication et de faire connaître à l'Académie les expériences nouvelles qu'il a effectuées sur le rôle des cellules en général, considérées comme agents de fermentation dans certaines conditions déterminées. Le principe mis en évidence par ces expériences lui semble destiné à exercer désormais une influence capitale dans l'étude des phénomènes de la vie. L'Académie et les hôtes éminents qui honorent la séance de leur présence entendraient avec un vif intérêt l'exposé de ces faits, qui pourraient bien faire époque dans l'histoire de la physiologie générale. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXV, 1872, p. 784.)

[Pasteur fit la communication suivante.]

FAITS NOUVEAUX POUR SERVIR A LA CONNAISSANCE DE LA THÉORIE DES FERMENTATIONS PROPREMENT DITES [1]

Depuis longtemps j'ai été conduit à envisager les fermentations proprement dites comme des phénomènes chimiques corrélatifs d'actions physiologiques d'une nature particulière. Non seulement j'ai démontré que leurs ferments ne sont point des matières albuminoïdes mortes, mais bien des êtres vivants ; j'ai provoqué, en outre, la fermentation du sucre, de l'acide lactique, de l'acide tartrique, de la glycérine, et plus généralement de toutes les matières fermentescibles, dans des milieux exclusivement minéraux, preuve incontestable que la décomposition de la matière fermentescible est corrélative de la vie du ferment, qu'elle est un de ses aliments essentiels : par exemple, dans les conditions que je rappelle, il est impossible que, dans la constitution des ferments qui prennent naissance, il y ait un seul atome de carbone qui ne soit enlevé à la matière fermentescible.

Quoiqu'ils nous éclairent sur la nature des ferments dont je parle, ces faits nouveaux sont loin de rendre compte du caractère propre des fermentations [2]. Ce qui sépare les phénomènes chimiques des fermen-

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 7 octobre 1872, LXXV, p. 784-790. — Cette communication avait déjà été faite à la séance du 12 septembre 1872 de la 1re session, à Bordeaux, de l'Association française pour l'avancement des sciences. *Comptes rendus de l'Association*, 1873, p. 450-456. Le texte en a été légèrement retouché pour être présenté à l'Académie des sciences.

2. Cette phrase a été supprimée dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. (*Notes de l'Édition.*)

tations d'une foule d'autres et particulièrement des actes de la vie commune, c'est le fait de la décomposition d'un poids de matière fermentescible bien supérieur au poids du ferment en action. Tant que ce caractère n'aura pas reçu une explication plausible, les phénomènes de fermentation seront enveloppés de mystère (1). Je soupçonne depuis longtemps que ce caractère particulier doit être lié à celui de la nutrition en dehors du contact de l'oxygène libre. Les ferments seraient des êtres vivants, mais d'une nature à part, en ce sens qu'ils jouiraient de la propriété d'accomplir tous les actes de leur vie, y compris celui de leur multiplication, sans mettre en œuvre, d'une manière nécessaire, l'oxygène de l'air atmosphérique. Qu'on se souvienne de ces singuliers infusoires qui provoquent la fermentation butyrique, ou la fermentation tartrique, ou certaines putréfactions, et qui non seulement peuvent vivre et se multiplier à l'abri du contact du gaz oxygène, mais qui périssent et cessent de provoquer la fermentation si l'on vient à faire dissoudre ce gaz dans le milieu où ils se nourrissent. Ce n'est pas tout. Par des expériences précises, faites avec de la levûre de bière, j'ai montré que, si la vie de ce ferment avait lieu partiellement par l'influence du gaz oxygène libre, cette petite plante cellulaire perdait, en proportion de l'intensité de cette influence, une partie de son caractère ferment, c'est-à-dire que le poids de levûre, qui prend naissance dans ces conditions pendant la décomposition du sucre, s'élève progressivement et se rapproche du poids du sucre décomposé au fur et à mesure que la vie se manifeste en présence de quantités croissantes de gaz oxygène libre.

La vie des organismes microscopiques, la formation de leurs tissus, en dehors de l'influence de la lumière solaire, ne peut avoir lieu sans production et consommation ultérieure de chaleur. Dans les conditions ordinaires, l'oxydation directe des matériaux d'alimentation de ces organismes fournit cette chaleur. Mais dans tous les cas de fermentation hors du contact de l'air atmosphérique, cette chaleur doit provenir de la décomposition de la matière fermentescible (2).

Que la matière fermentescible produise cette chaleur au profit de la vie des ferments, seule ou concurremment avec les combustions dues au gaz oxygène, le rapport du poids de cette matière fermentescible décomposée au poids du ferment formé sera plus ou moins élevé, suivant le degré d'action du gaz oxygène extérieur. Le maximum, qui sera aussi le maximum du caractère ferment, correspondra au cas de

1. Cette phrase a été supprimée dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*.
2. Cet alinéa a été supprimé dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. (Notes de l'Édition.)

vie sans aucune participation du gaz oxygène libre. C'est, en effet, ce que l'expérience démontre [1].

Guidé par tous ces faits, j'ai été conduit peu à peu à envisager la fermentation comme une conséquence obligée de la manifestation de la vie, quand la vie s'accomplit en dehors des combustions directes dues au gaz oxygène libre.

On peut entrevoir, comme conséquence de cette théorie, que tout être, tout organe, toute cellule qui vit ou qui continue sa vie sans mettre en œuvre l'oxygène de l'air atmosphérique ou qui le met en œuvre d'une manière insuffisante pour l'ensemble des phénomènes de sa propre nutrition doit posséder le caractère ferment pour la matière qui lui sert de source de chaleur totale ou complémentaire. Cette matière paraît devoir être forcément oxygénée et carbonée, puisque, comme je le rappelais tout à l'heure, elle sert d'aliment au ferment. Toutes les matières fermentescibles comptent, en effet, ces deux corps simples au nombre de leurs principes élémentaires. Je viens apporter à cette théorie nouvelle, que j'ai déjà proposée à diverses reprises, quoique timidement, depuis l'année 1861, l'appui de faits nouveaux qui, cette fois, je l'espère, entraîneront les convictions.

Considérons un liquide sucré, propre à la nourriture des ferments, contenu dans un vase disposé de telle sorte qu'on puisse ensemencer ce liquide avec une production organisée spéciale, sans craindre que d'autres organismes puissent venir s'y associer ultérieurement, à l'insu de l'expérimentateur, par voie d'ensemencement spontané, c'est-à-dire par les germes en suspension dans l'air atmosphérique.

A la surface de ce terrain ainsi préparé, déposons une trace de *mycoderma vini* pur. Les jours suivants, la moisissure recouvrira peu à peu tout le liquide sous forme d'un voile continu.

Cela posé, il est facile de constater que le développement du mycoderme dans ces conditions donne lieu à une absorption de gaz oxygène atmosphérique qui est remplacé par un volume à peu près égal de gaz acide carbonique, et d'autre part qu'il ne se forme pas du tout d'alcool [2].

1. Cet alinéa a été supprimé dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. (*Note de l'Édition.*)

2. J'ai annoncé que le *mycoderma vini* avait deux manières de vivre, qu'il était moisissure ou ferment suivant les circonstances, et que la levûre de bière, dite levûre basse, n'était autre que le ferment dans lequel ce mycoderme se transformait quand il est privé du contact de l'oxygène de l'air. Ces assertions ne sont pas de tout point conformes à la vérité; ou mieux, les phénomènes qu'elles caractérisent ont une complication qui m'avait échappé.

Je serai bientôt en mesure de les faire connaître dans toutes leurs particularités.

Cette observation est ici nécessaire, puisque je parle en ce moment du *mycoderma vini* dans des termes qui ne rentrent pas exactement dans les assertions que je viens de rappeler.

Répétons cette expérience exactement dans les mêmes conditions, avec cette seule différence que, quand le voile sera continu, nous agiterons le vase pour disloquer ce voile et le submerger, autant que cela est possible, car les matières grasses dont il est accompagné empêchent qu'il ne soit mouillé en totalité. Le lendemain, souvent après quelques heures déjà, lorsqu'on opère à la température de 25 à 30°, on voit s'élever sans cesse du fond du vase de petites bulles de gaz qui annoncent que la fermentation du liquide sucré a commencé. Elle continue les jours suivants, quoique toujours faible, et il est facile de constater dans le liquide la présence d'une quantité sensible d'alcool. Une observation attentive, faite au microscope, des cellules ou articles du mycoderme submergé montre que ces articles ne se reproduisent pas, mais qu'ils se gonflent pour la plupart, et que la structure intérieure de leur *plasma* se modifie profondément.

Si la fermentation s'arrête, on peut la faire reprendre en disloquant de nouveau le voile qui s'est reformé.

L'interprétation de ces faits ne paraît pas douteuse. Dans ces deux expériences comparatives, nous avons sous les yeux des cellules qui prennent ou perdent, au gré de l'opérateur, le caractère ferment. Or, quelle est, dans les deux cas, la différence des conditions d'existence pour les cellules du *mycoderma vini*? Il n'y en a qu'une, qui est irrécusable. Dans le premier cas, la vie de la plante a lieu au niveau du liquide, en présence de l'air atmosphérique ou, mieux, du gaz oxygène, tandis que, dans le second, elle s'accomplit hors de son influence ou, du moins, au contact de quantités d'oxygène extrêmement faibles, parce que celui qui tend à se dissoudre dans le liquide est retenu par la vie des cellules restées à la surface. La vie n'est pas éteinte dans les cellules submergées, le microscope le démontre; mais cette vie se fait ou, mieux, se poursuit avec privation d'air, et alors ces cellules provoquent la fermentation.

Je ne parle pas des cas où les spores semées donnent de la vraie levûre de bière; j'y reviendrai ailleurs. Nous voyons, en un mot, dans cette double expérience, d'un côté, la vie ou la multiplication de cellules, avec absorption et mise en œuvre de gaz oxygène libre, et formation d'un volume correspondant de gaz carbonique; d'un autre côté, la continuation de la vie d'une partie de ces mêmes cellules submergées, sans intervention de gaz oxygène, mais avec apparition corrélative de la fermentation alcoolique, c'est-à-dire un dégagement continu de bulles de gaz acide carbonique et une production d'alcool. Chose curieuse, et assurément remarquable, ces mêmes expériences réussissent avec les moisissures proprement dites. Le *penicillium*

glaucum, par exemple, qui vit en présence du gaz oxygène libre, et qui dispose de ce gaz autant qu'il en peut consommer pour accomplir tous les actes de sa nutrition et de son développement rapide, ne produit pas du tout d'alcool; mais si, lorsqu'il est en pleine vie, on lui refuse ce gaz, si on le submerge ou si, vivant à la surface de son *substratum*, on gène l'arrivée de l'air atmosphérique, aussitôt la vie de la moisissure, les changements qui s'effectuent dans le *plasma* de ses spores en germination, de son *mycelium*, s'accompagnent de la formation de quantités d'alcool et de bulles de gaz acide carbonique en rapport avec la durée des actes de nutrition de la moisissure dans les nouvelles conditions dont je parle.

La levûre de bière, ce type des ferments, et les autres ferments organisés que j'ai découverts nous apparaissent dès lors comme des plantes ou animalcules qui ne diffèrent des organismes inférieurs qu'en ce qu'ils ont la faculté de vivre et de se multiplier à l'abri du contact de l'air, d'une manière régulière et prolongée.

Je suis porté à croire que le mystère de la fermentation se trouve dévoilé par ces résultats inattendus. Ce que nous appelons ferments organisés sont des organismes qui peuvent continuer pour un temps leur vie et même se régénérer, sans que l'oxygène libre doive nécessairement intervenir pour brûler et mettre en œuvre les matériaux de leur nutrition; des organismes, en d'autres termes, qui peuvent s'assimiler directement des matières oxygénées, le sucre par exemple, capables de fournir de la chaleur par leur décomposition. Envisagée sous ce point de vue, la fermentation nous apparaît comme un cas particulier d'un phénomène extrêmement général, et l'on pourrait dire que tous les êtres sont des ferments dans certaines conditions de leur vie; car il n'en est pas chez lesquels on ne puisse momentanément suspendre l'action du gaz oxygène libre. Que l'on frappe de mort par asphyxie, par section de nerfs, etc., un être quelconque ou un organe dans cet être, ou dans cet organe un ensemble de cellules, la vie physique et chimique, ne pouvant être instantanément suspendue, se poursuivra, et si cela a lieu sous la condition de la privation de gaz oxygène libre (intérieur ou extérieur), alors l'être, l'organe, les cellules prendront forcément la chaleur dont ils ont besoin pour les nouveaux actes de nutrition, ou de mutation dans leurs tissus, aux matériaux qui les entourent; dès lors, ils les décomposeront, et l'on verra apparaître le caractère propre des fermentations, si la quantité de chaleur développée correspond à la décomposition d'un poids de la matière fermentescible sensiblement supérieur au poids des matériaux mis en œuvre corrélativement par l'être, par l'organe ou par la cellule.

Les faits suivants m'apparaissent comme la déduction logique de ces principes.

M. Bérard [1], dans un Mémoire qui est un modèle de sagacité et de méthode expérimentale, nous a appris que, lorsque des fruits sont placés dans l'air ou dans le gaz oxygène, il disparaît un certain volume de ce gaz en même temps qu'il y a formation d'un volume à peu près égal de gaz acide carbonique. Si ces fruits sont abandonnés, au contraire, dans le gaz acide carbonique ou dans un autre gaz inerte, il y a encore formation de gaz acide carbonique en quantité notable, comme par une sorte de fermentation, dit M. Bérard [2].

Voici, à mon sens, la véritable interprétation de ces faits. Lorsqu'un fruit, et en général un organe quelconque, est séparé de la plante ou de l'animal dont il faisait partie, la vie n'est pas éteinte dans les cellules qui le composent. La maturation des fruits en dehors de l'arbre qui les portait en est une preuve palpable. Si l'air est présent, l'oxygène intervient et prend part aux changements qui s'accomplissent dans l'intérieur du fruit.

La chaleur est fournie par la combustion qui en résulte, combustion à laquelle le sucre prend sans doute une large part; mais alors la nutrition est de l'ordre de la nutrition du fruit sur l'arbre, de la nutrition ordinaire, de celle qui s'accomplit chez les êtres vivants et qui est caractérisée par cette circonstance, que le poids des matériaux transformés ou mis en œuvre est comparable à celui des matériaux qui servent à l'alimentation.

Dans ces conditions, pas plus que dans la vie du *mycoderma vini*, au libre contact de l'air, l'alcool et l'acide carbonique ne sauraient apparaître que d'une manière accidentelle. C'est alors que, pour un volume d'acide carbonique produit, un volume à peu près égal d'oxygène est consommé. C'est la combustion respiratoire ordinaire.

Que le fruit, au contraire, soit placé dans une atmosphère d'acide carbonique, la vie se poursuit aussitôt en empruntant à la décomposition du sucre la chaleur dont elle a besoin pour se manifester; les

1. Bérard. Mémoire sur la maturation des fruits. *Annales de chimie et de physique*, XVI, 1821, p. 153-183 et 225-251.

2. Le texte de l'Association française présente la *variante* suivante :

« Vous connaissez le Mémoire si remarquable de M. Bérard, sur la maturation des fruits, chef-d'œuvre de sagacité et vrai modèle de la méthode expérimentale pour l'époque à laquelle il a paru. — Placez un fruit, d'après M. Bérard, dans l'air ou dans le gaz oxygène; il disparaîtra un certain volume de ce gaz, en même temps qu'il y aura formation d'un volume à peu près égal de gaz acide carbonique. Placez-le, toujours d'après M. Bérard, dans le gaz acide carbonique ou dans un autre gaz inerte, il y aura encore formation de gaz acide carbonique en quantité notable comme par une sorte de fermentation, hypothèse admise plus tard par divers chimistes, notamment par MM. Cahours et Fremy. » (*Notes de l'Édition.*)

cellules sont alors dans la condition des cellules des ferments qui vivent en dehors du gaz oxygène libre. C'est le cas des cellules du *mycoderma vini* qu'on vient de submerger.

En effet, à peine le fruit est-il placé dans le gaz carbonique qu'aussitôt du gaz carbonique se produit, ainsi que de l'alcool, en faible quantité assurément, mais assez grande cependant pour que, dans une de mes expériences, vingt-quatre *prunes de Monsieur*, détachées de l'arbre et placées dans le gaz carbonique, m'aient fourni, après quelques jours, 6 gr. 50 d'alcool absolu en restant fermes, dures, de l'apparence la plus saine, si même quelques-uns de ces caractères ne paraissaient pas sensiblement accrus : une quantité correspondante de sucre s'était détruite; tandis que vingt-quatre prunes pareilles, laissées au contact de l'air, étaient devenues molles, aqueuses, très sucrées.

Les raisins, tous les fruits acides, les melons, etc., se comportent de la même manière. J'étendrai cette étude à beaucoup de plantes.

Une feuille de rhubarbe placée dans une atmosphère de gaz carbonique répand, au bout de quarante-huit heures, une odeur un peu vineuse, sans altération apparente, et elle donne de petites quantités d'alcool à la distillation.

Je me suis assuré que, dans ces phénomènes, la levûre de bière, quand on opère convenablement, ni aucun autre ferment ne prennent naissance. C'est dans des cas exceptionnels et rares que des cellules de levûre peuvent pénétrer et passer de l'extérieur à l'intérieur du fruit.

Les raisins offrent dans ces expériences une particularité très digne d'attention. Tout le monde a remarqué que la vendange, c'est-à-dire le jus des grains écrasés, et ces grains eux-mêmes pris dans la cuve ont une saveur et une odeur entièrement différentes de celles du raisin mangé sur pied ou en grappes non écrasées. Eh bien, les grains de raisin qui sortent du gaz carbonique ont exactement le goût et l'odeur de vendange. C'est que dans la vendange les grains sont presque soudainement enveloppés d'une atmosphère de gaz acide carbonique. Je ne doute pas que l'étude des phénomènes dont je parle, envisagés dans leurs rapports avec les pratiques de la cueillette du raisin, ne deviennent utiles à l'art de faire le vin, et je ne serais pas surpris que, par la conservation des raisins en grappes dans une atmosphère d'acide carbonique, on ne parvienne peut-être à créer des vins et des eaux-de-vie qui offriraient des propriétés spéciales et peut-être avantageuses, commercialement parlant.

Je n'ai pas encore suivi convenablement ces idées nouvelles chez les organes des animaux.

Il est probable que les phénomènes différeront de ceux que présentent les cellules végétales. Vraisemblablement aussi les équations de toutes ces fermentations d'une nouvelle espèce différeront non seulement avec chaque genre de cellules, soit animales, soit végétales, mais pour les unes et les autres avec leur nature propre.

Les quelques essais que j'ai tentés sur des organes du règne animal sont trop incomplets pour être mentionnés; mais je pressens déjà, par les résultats qu'ils m'ont offerts, qu'une voie nouvelle est ouverte à la physiologie et à la pathologie médicale. J'espère qu'une vive lumière sera jetée sur les phénomènes de putréfaction et de gangrène. La production de gaz putrides en dehors de l'action de ferments organisés recevra sans doute une explication aussi naturelle que la formation de l'alcool et de l'acide carbonique en dehors de la présence des cellules de levûre alcoolique.

RÉPONSE [1] A M. FREMY [2]

M. Fremy paraît ne m'avoir pas compris. J'ai étudié avec soin l'intérieur des fruits mis en expérience, et j'ai constaté qu'il ne s'y était développé ni cellules de levûre, ni ferment organisé quelconque. Une autre preuve résulte de ce fait, qu'on peut semer le jus et les cellules du parenchyme dans du moût de raisin sans qu'ils y provoquent la moindre fermentation.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 7 octobre 1872, LXXV, p. 791.

2. Fremy. Observations à propos de la communication qui précède. *Ibid.*, p. 790-791. M. Fremy avait dit :

« M. Pasteur, voulant établir que certains organismes, comme le ferment alcoolique, peuvent se développer et vivre sans oxygène, affirme que du raisin abandonné dans de l'acide carbonique peut, au bout d'un certain temps, entrer en fermentation et produire de l'alcool et de l'acide carbonique.

« Comment faire accorder cette observation avec la théorie de M. Pasteur, d'après laquelle les ferments seraient uniquement produits par les germes qui existent dans l'air? » (*Note de l'Édition.*)

OBSERVATIONS [1] AU SUJET DES DEUX NOTES QUE M. FREMY A PUBLIÉES DANS LES COMPTES RENDUS DE LA SÉANCE DU 7 OCTOBRE [2]

Notre confrère M. Fremy n'ayant pas assisté à la dernière séance, j'ai remis à celle-ci pour le prier de me permettre de lui poser une question au sujet des deux Notes qu'il a insérées dans les *Comptes rendus* de la séance du 7 octobre courant.

Dans les Notes dont il s'agit, M. Fremy affirme, sans en donner la preuve, que les faits nouveaux exposés par moi dans cette même séance « *appuient les idées qu'il a émises pour la génération des ferments* »; « *qu'elles sont une confirmation éclatante de la théorie qu'il soutient, et qu'elles renversent entièrement la mienne* ». Ce sont les termes mêmes dont M. Fremy s'est servi, pages 783 et 790.

M. Fremy a répondu, séance tenante, à mes communications du 7 octobre. Ces communications avaient été, de ma part, improvisées : je ne m'étais pas préparé à les faire ce jour-là. Peut-être n'ai-je pas été clair. Peut-être me suis-je mal fait comprendre. Dans tous les cas, mon exposition verbale a trouvé dans les *Comptes rendus* de la séance sa forme écrite définitive, et nul doute que M. Fremy n'en ait pris connaissance à tête reposée.

Dès lors, voici la question à laquelle je prie M. Fremy de vouloir bien répondre. Dans la crainte que mes descriptions verbales n'aient pas été bien comprises, je viens demander à notre confrère si, après avoir lu mes communications sous leur forme écrite, il persiste dans ses opinions; en d'autres termes, s'il persiste à juger que mes deux séries d'expériences sont « *une confirmation éclatante de sa théorie* ».

Pour les points en litige, ces deux séries d'expériences se résument comme il suit : le jus trouble de l'intérieur d'un grain de raisin, déposé dans du moût de raisin cuit, ne provoque pas la fermentation. L'eau de lavage de la surface de grains de raisin fait, au contraire, fermenter ce moût avec production de cellules de levûre, effet qui n'a plus lieu,

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 21 octobre 1872, LXXV, p. 900-901
2. Fremy. Sur la génération des ferments. *Ibid.*, p. 782-784. – Observations à propos de la Note précédente [de Pasteur]. *Ibid.*, p. 790-791.

d'ailleurs, si l'on fait au préalable bouillir cette eau de lavage avant de l'introduire dans le moût. Expériences de ma première Note [1].

Je place des grains de raisin dans des conditions de vie semblables à celles des cellules de la levûre, et les cellules intérieures de ces grains se comportent comme les cellules de la levûre vis-à-vis du sucre, sans que ces cellules des grains engendrent des cellules de levûre. Expériences de ma deuxième Note) [2].

Ma conclusion, qui est adéquate aux faits, est celle-ci : dans aucun cas le jus du raisin ne peut par lui-même engendrer des cellules de levûre ; ces cellules viennent primitivement de l'extérieur. Mes expériences, la conclusion obligée que j'en déduis, mettent donc au pied du mur les deux théories de la fermentation que soutient M. Fremy. En d'autres termes, je déclare erronées, soit la théorie de la transformation des matières albuminoïdes en cellules de levûre au contact de l'oxygène de l'air, soit la théorie de l'hémiorganisme, c'est-à-dire de la génération des cellules de levûre par les cellules des fruits [3].

OBSERVATIONS VERBALES [4] AU SUJET DE LA LECTURE DE M. FREMY [5]

M. Fremy vient de terminer sa lecture en parlant de mes interpellations.

N'intervertissons pas ainsi les rôles. La discussion qui se poursuit en ce moment est née, il y a un an, par une interpellation directe de M. Fremy, qui s'est fait alors le champion de la science allemande, à

1. *Voir* p. 385-386 du présent volume : Nouvelles expériences pour démontrer que le germe de la levûre qui fait le vin provient de l'extérieur des grains de raisin.

2. *Voir* p. 387-394 du présent volume : Faits nouveaux pour servir à la connaissance de la théorie des fermentations proprement dites. (*Notes de l'Édition.*)

3. Ces deux théories, qui ont pris naissance en Allemagne, n'y comptent plus que de rares adeptes.

4. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 28 octobre 1872, LXXV, p. 981-984.

5. Fremy. Recherches sur les fermentations ; réponse à une question que M. Pasteur a posée dans la dernière séance. *Ibid*, p. 973-981. — La question posée par Pasteur était, dans la communication qui précède : « Dans la crainte que mes descriptions verbales n'aient pas été bien comprises, je viens demander à notre confrère si, après avoir lu mes communications sous leur forme écrite, il persiste dans ses opinions ; en d'autres termes, s'il persiste à juger que mes deux séries d'expériences sont « *une confirmation éclatante de sa théorie* ». (*Voir* page précédente du présent volume.) [*Note de l'Édition.*]

la suite de ma réponse à M. Liebig (1), et quoique le nom de M. Fremy n'eût pas été prononcé par moi.

La discussion a repris dans la séance du 7 octobre courant, encore sur une interpellation de M. Fremy, quoique je n'eusse pas davantage prononcé son nom dans les deux Notes que je venais de communiquer à l'Académie.

Je regrette vivement que M. Fremy, au lieu de répondre avec brièveté à la question que je lui ai posée, ait cru devoir s'engager dans une de ces dissertations où l'on trouve tout, excepté ce qui est véritablement en question. Dans cette longue lecture de M. Fremy, je ne trouve aucune expérience nouvelle, et seulement des affirmations ou des négations sans preuves.

Je vais essayer de serrer davantage la discussion.

Voici une des expressions de la théorie de M. Fremy prise dans une de ses Notes des *Comptes rendus*.

On lit page 1425, séance du 18 décembre 1871 (2) :

« Pour ne parler ici que de la fermentation alcoolique, j'admets que, dans la production du vin, c'est le suc même du fruit qui, au contact de l'air, donne naissance aux grains de levûre par la transformation de la matière albumineuse, tandis que M. Pasteur soutient que les grains de levûre ont été produits par des germes. »

J'ai dit alors à M. Fremy, sous cette forme vive et incisive, que je le remercie d'avoir rappelée, forme vive que je reconnais m'être propre dans la défense de la vérité, que je regrette toujours quand elle a dépassé les bornes de la courtoisie, mais que je déclare n'être jamais associée à des sentiments hostiles pour mes contradicteurs, tant que je les juge de bonne foi : « Confesseriez-vous vos erreurs, si je vous démontrais qu'on peut extraire le jus de l'intérieur d'un grain de raisin, sans que jamais la fermentation puisse avoir lieu? » (3).

M. Fremy comprenant toute la portée de ma question me répondit qu'il ne se rendait pas si facilement, qu'il attendrait le résultat de mon expérience et le détail de son exécution pour la juger. Ce résultat, ces détails, tout lui est connu aujourd'hui : j'ai démontré péremptoirement, dans la séance du 7 octobre courant, 1° que le jus trouble de l'intérieur d'un grain de raisin déposé dans du moût de raisin cuit ne provoque

1. *Voir* p. 361-366 du présent volume : Note sur un Mémoire de M. Liebig relatif aux fermentations.

2. Dans le texte des *Comptes rendus de l'Académie des sciences* existe une erreur de date qui a été rectifiée.

3. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 26 décembre 1871, LXXIII, p. 1461, et p. 369 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

pas la fermentation ; 2° qu'au contraire l'eau de lavage de la surface de grains de raisin la détermine avec production de cellules de levûre ; 3° qu'enfin cette fermentation n'a plus lieu si l'on fait au préalable bouillir cette eau de lavage avant de l'introduire dans le moût.

Ces trois expériences comparatives démontrent que la levûre du raisin ne vient pas du suc même du fruit, comme le prétend gratuitement M. Fremy, mais de l'extérieur. M. Fremy, cherchant à paraître profond, fait une distinction radicale, toujours gratuite, entre les levûres alcooliques et les moisissures. Là n'est pas la question. Que la levûre vienne du ciel ou de la terre, de ceci ou de cela, peu importe. Elle vient de l'extérieur. Voilà ma proposition, et je la démontre avec la clarté de l'évidence. Vous dites, vous, qu'elle vient de l'intérieur, et vous le dites hypothétiquement. Mes expériences mettent donc au pied du mur, je tiens à cette expression, votre hypothèse gratuite que j'ai rappelée tout à l'heure, à savoir : que la matière albumineuse du grain de raisin se transforme en levûre alcoolique au contact de l'air.

Poussé dans ses derniers retranchements par ces trois expériences décisives, que répond M. Fremy ? Il ne craint pas d'affirmer que le résultat de mon expérience sur la goutte de jus de raisin s'explique par un fait nouveau qu'il aurait observé et qu'il exprime, je crois, ainsi : la fermentation n'est pas possible pour de si petites quantités de matière. Mais pourquoi donc la goutte d'eau de lavage que je sème dans le moût provoque-t-elle la fermentation ? La force de cet argument n'échappe pas à M. Chevreul, qui a la bonté de me la faire remarquer. M. Fremy a donc oublié cette contre-partie de mon expérience, quand il en a appelé à cette étrange affirmation, QUE LES PETITES QUANTITÉS NE FERMENTENT PAS.

On sait que M. Fremy a donné, toujours sans la moindre preuve sérieuse, une autre forme à sa théorie. Pour échapper au reproche d'être hétérogéniste, comme M. Trécul, qui veut que la levûre soit spontanée, M. Fremy a imaginé ce qu'il appelle l'*hémiorganisme* : la matière albumineuse n'est pas, dit-il, une matière chimique ordinaire, elle est hémiorganisée ou, encore, ce sont les cellules du grain de raisin qui engendrent le ferment appelé *levûre de bière*. C'est bien le propre des théories vagues de revêtir ainsi des formes diverses, véritables caméléons propres à prendre tous les aspects.

Ici, de même, tout peut, néanmoins, se résoudre par un fait. Le jus trouble de l'intérieur du grain de raisin, dont je viens de parler, renferme ces cellules du fruit, et nous venons de voir que ces cellules n'engendrent pas, comme le voudrait M. Fremy, des cellules de levûre.

Mais il y a plus : par les expériences de ma seconde Note du 7 octobre [1], j'ai démontré deux faits considérables et nouveaux, savoir : 1° que les cellules du grain de raisin placées dans l'acide carbonique forment immédiatement de l'alcool ; 2° qu'il n'y a pas apparition de cellules de levûre dans cette expérience [2].

M. Fremy, qui, paraît-il, ne m'avait pas compris quand j'ai exposé ces faits en sa présence, s'est empressé d'écrire, dans les *Comptes rendus*, p. 791 [3], que j'étais en contradiction avec moi-même ; que, puisque les ferments s'étaient produits dans l'intérieur des cellules, leur génération n'était donc pas due à des germes qui existeraient dans l'air. Or, c'est tout le contraire que j'ai dit. C'est une erreur échappée à l'attention de M. Fremy ; il le sait aujourd'hui, car il a lu, à tête reposée, ma dernière Note du 7 octobre sous forme écrite [4]. Que fait alors M. Fremy ? Il nie le fait de l'absence des cellules de levûre dans les cellules du fruit sortant du gaz acide carbonique. Seulement, comme il ne peut pas dire qu'il y avait des cellules de levûre, quand j'affirme que je n'en ai pas vu, il ajoute : « M. Pasteur est-il bien sûr de connaître toutes les formes possibles que la levûre de bière peut revêtir ? »

Ce n'est pas là de la discussion sérieuse. S'il y avait eu dans les grains de raisin des formes de cellules de levûre qui m'auraient échappé, parce que la science les ignore, du moins ces cellules pourraient-elles se propager. Or, j'ai semé, par la méthode que j'ai fait connaître, le jus intérieur d'un grain de raisin sortant de l'acide carbonique dans du moût cuit, et il n'y a eu ni fermentation, ni production de cellules de levûre. En conséquence, ici encore l'opinion de M. Fremy est mise au pied du mur.

Je le répète donc : dans aucune circonstance, la matière albumineuse du jus de raisin ou les cellules de ce fruit n'engendrent des cellules de levûre.

Je regrette que M. Fremy ne se rende pas à l'évidence et qu'il

1. *Voir* p. 387-394 du présent volume : Faits nouveaux pour servir à la connaissance de la théorie des fermentations proprement dites. (*Note de l'Édition.*)

2. Dans les groseilles, fruits de tout autre nature que les raisins et les prunes, il m'est arrivé souvent de constater la présence de la petite levûre alcoolique des fruits acides, signalée déjà autrefois dans ma Note du *Bulletin de la Société chimique* de 1862. [Quelques faits nouveaux au sujet des levûres alcooliques, p. 150-158 du présent volume.] Dans l'intérieur des pommes, très saines d'apparence, on trouve souvent des moisissures. Les grains de raisin, eux aussi, peuvent donner lieu à une pénétration de l'extérieur à l'intérieur. Dans l'arrière-saison, les raisins conservés sont rarement sains. Ils renferment à l'insertion du pédoncule de la grappe des mycéliums de moisissures en abondance

3. Fremy. Observations. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 7 octobre 1872, LXXV, p. 790-791. (*Note de l'Édition*)

4. *Voir* p. 387-394 du présent volume : Faits nouveaux pour servir à la connaissance de la théorie des fermentations proprement dites. (*Note de l'Édition.*

n'imite pas l'exemple de M. Donné, bien connu de l'Académie par des travaux très recommandables, qui s'est honoré en venant déclarer devant elle qu'il se rangeait à nouveau contre les hétérogénistes [1], après avoir rectifié, par des expériences rigoureuses, les erreurs qui lui avaient échappé d'abord, dans ce sujet difficile [2].

[A la suite de ces Observations de Pasteur, M. Fremy, dans une « Seconde réponse à M. Pasteur » (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXV, 1872, p. 984-987), entend, dit-il, « accentuer avec plus de netteté et de précision les objections » adressées à son confrère.]

M. Pasteur déclare qu'il a répondu complètement à M. Fremy dans la Note reproduite plus haut. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXV, 1872, p. 987.)

RÉPONSE [3] A M. TRÉCUL [4]

M. Trécul vient de nous dire, hypothétiquement, que peut-être la goutte intérieure du grain de raisin que je sème dans le moût n'a plus la vie nécessaire pour se transformer en cellules de levûre. Je fais observer à M. Trécul qu'elle en a certainement tout autant que le jus de grains de raisin écrasés et broyés.

M. Trécul revient, en outre, sur une de mes observations publiées en 1862 [5], observation qui démontre qu'on ne saurait prétendre que la levûre est spontanée ou qu'elle naît de bacteriums, deux des opinions de M. Trécul. Mon expérience prouve, et j'en garantis l'exactitude : 1° que la levûre du raisin ne vient pas de bacteriums, car ce jus est tout à fait impropre à donner naissance à des bacteriums, et la levûre,

1. Donné. Expériences nouvelles sur les générations spontanées. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXV, 1872, p. 521-523. (*Note de l'Édition.*)

2. M. Pasteur, conformément à la demande faite par M. Fremy, entre dans tous les détails de la première série de ses expériences du 7 octobre courant. [Nouvelles expériences pour démontrer que le germe de la levûre qui fait le vin provient de l'extérieur des grains de raisin, p. 385-386 du présent volume.]

M. Pasteur ajoute, en outre, qu'il a apporté à la séance et qu'il est prêt à faire passer sous les yeux de l'Académie des dessins représentant, outre les germes des cellules de la levûre, tels qu'ils existent à la surface des grains de raisin ou du bois de la grappe, la transformation morphologique de ces germes en véritables cellules de levûre. (*Note des Comptes rendus de l'Académie des sciences.*)

3. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 28 octobre 1872, LXXV, p. 990.

4. Trécul. Note concernant l'origine des levûres. *Ibid.*, p. 987-989.

5. *Voir* p. 150-158 du présent volume : Quelques faits nouveaux au sujet des levûres alcooliques. (*Notes de l'Édition.*)

par contre, y apparaît fort bien ; 2° qu'on ne saurait soutenir que la levûre du raisin naît spontanément de la matière albumineuse dissoute, car il faudrait pour cela qu'il y eût des cellules de levûre de toutes les tailles, depuis le point apercevable jusqu'au volume ordinaire de la levûre, ce qui n'est point. La levûre apparaît de prime-saut avec sa grosseur. Il n'y a au-dessous de cette taille que de petits bourgeons détachés de plus grosses cellules, mais jamais toutes les tailles entre ces petits bourgeons détachés et la dimension des premiers points apercevables.

NOTE SUR LA PRODUCTION DE L'ALCOOL PAR LES FRUITS [1]

J'ai l'honneur d'annoncer à l'Académie que, pour la connaissance de quelques-uns des faits exposés dans ma deuxième Note du 7 octobre (2), j'ai été devancé par M. Lechartier, qui a publié, dans le cours de l'année 1869, en collaboration avec M. Bellamy, deux Notes intitulées, la première : *Étude sur les gaz produits par les fruits*, la seconde : *De la fermentation des fruits* (3). Malgré le soin avec lequel je me plais à suivre et à encourager nos anciens élèves de l'École Normale supérieure, ces Notes avaient passé pour moi inaperçues.

M. Lechartier est, en effet, un de nos meilleurs élèves de l'École Normale, actuellement professeur à la Faculté des sciences de Rennes, et déjà connu de l'Académie par des travaux d'études minéralogiques qui se recommandent autant par la nouveauté des méthodes que par la précision des résultats.

Voici une très courte analyse des Notes de MM. Lechartier et Bellamy, dans ce qu'elles ont de relatif à mes propres recherches.

M. Lechartier place les fruits (pommes, citrons, cerises, groseilles) dans des éprouvettes à pied qui communiquent avec des éprouvettes plus petites disposées sur la cuve à mercure. Il a trouvé que les phénomènes observés se partagent en deux périodes distinctes. Dans la première, après l'absorption du gaz oxygène de l'air resté dans les

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 4 novembre 1872, LXXV, p. 1054-1056.

2. *Voir* p. 387-394 du présent volume : Faits nouveaux pour servir à la connaissance de la théorie des fermentations proprement dites.

3. LECHARTIER et BELLAMY. Étude sur les gaz produits par les fruits. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXIX, 1869, p. 356-360. — De la fermentation des fruits. *Ibid.*, p. 466-469. (*Notes de l'Édition.*)

éprouvettes, le dégagement de gaz acide carbonique s'effectue d'abord d'une manière uniforme, puis se ralentit et s'arrête pendant un certain temps pour reprendre ensuite avec des vitesses croissantes, supérieures à celles qu'on observe dans la première période.

La première période dure plusieurs mois. Arrivé au terme de cette première période, accusée par le ralentissement du gaz, ou mieux la cessation de son dégagement, M. Lechartier écrase les pommes, les broie dans un mortier, puis les soumet à la distillation. En outre, il observe au microscope, soit la pulpe, soit l'intérieur des pommes restées entières.

Dans tous les cas, il a constaté la formation de l'alcool à la fin de la première période, et il laisse clairement entrevoir que cet alcool n'a pas pu se produire sous l'influence de la levûre de bière. Sous ce rapport, il oppose les faits de la seconde période avec ceux de la première. Dans la seconde période, où le dégagement de gaz reprend, il a observé le ferment alcoolique, développé et bourgeonnant. Au surplus, voici comment il s'exprime :

« Pendant la première période du dégagement gazeux, nous n'avons trouvé de ferment bourgeonnant ni dans les pommes, ni dans le jus qu'elles ont fourni. On rencontre dans le jus des globules isolés de diverses grosseurs. On en voit même quelques-uns de forme ovoïde, ayant l'apparence de globules de ferment ; mais toujours ils sont isolés. Cependant, même dans ce cas, il y a production d'alcool comme on l'a constaté dans l'expérience 5 »[1].

Il s'agit ici d'une expérience qui, au moment de cette observation, durait depuis deux mois et demi environ.

Mes recherches diffèrent de celles de M. Lechartier par deux points essentiels : 1° parce que je plonge les fruits dès l'abord dans le gaz acide carbonique, et que je constate la formation immédiate de l'alcool. La présence de l'alcool est très sensible déjà après vingt-quatre heures. Ce résultat est capital si l'on se place au point de vue que j'ai développé devant l'Académie, savoir : que cette formation de l'alcool est due à ce que la vie chimique et physique des cellules du fruit se continue dans des conditions nouvelles semblables à celles des cellules des ferments. En outre, j'ai constaté un dégagement de chaleur sensible dans les fruits ainsi traités, comme dans les racines, telles que navets, carottes, betteraves, qui offrent d'ailleurs, dans ces essais, des résultats tout particuliers dont je m'occupe présentement.

1. *Loc. cit.*, p. 467-468. (*Note de l'Édition.*)

NOTE [1] AU SUJET D'UNE ASSERTION DE M. FREMY [2] PUBLIÉE DANS LE DERNIER COMPTE RENDU

M. Fremy a écrit dans le *Compte rendu* de la dernière séance :

« Dans des expériences que j'ai variées à l'infini, j'ai reconnu qu'il était presque impossible de déterminer une fermentation alcoolique, appréciable par ses résultats, dans une seule goutte de suc de raisin, et j'ajoute que cette fermentation doit être plus difficile encore, comme l'a dit avec beaucoup de justesse notre confrère M. Trécul, lorsque cette goutte se trouve noyée dans une quantité considérable de suc soumis préalablement à l'ébullition. »

M. Fremy attache une grande importance à cette déclaration. C'est par cette assertion qu'il répond à celles de mes expériences qui démontrent que la levûre qui fait le vin provient de l'extérieur et non de l'intérieur des grains de raisin. Voici la preuve que l'affirmation de M. Fremy est absolument erronée :

J'ai pris une grappe de raisin, je l'ai broyée dans un mortier, puis j'ai introduit séparément dans une série d'ampoules très petites une goutte de jus. J'ai fermé les ampoules à moitié pleines à la lampe, je les ai portées à une température de 20°. Toutes, après quarante-huit heures, étaient en pleine fermentation alcoolique et montraient au microscope des cellules de levûre en nombre incalculable. Le jus d'autres grappes traitées de même a toujours donné le même résultat. On peut multiplier à l'infini le nombre des ampoules ; toutes offrent les indices les plus manifestes de la fermentation. C'est que dans toutes on a introduit des germes de la levûre de la surface des grains ou de la surface du bois de la grappe, tant ils y sont abondants.

On peut *noyer* la goutte de jus dans une grande quantité de moût de raisin cuit ; le résultat est le même. Toute la masse fermente peu à peu [3].

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 4 novembre 1872, LXXV, p. 1056-1058.

2. Fremy. Seconde réponse à M. Pasteur (au sujet des fermentations). *Ibid.*, séance du 28 octobre 1872, p. 984-987. (*Note de l'Édition.*)

3. Il y aurait deux manières de donner un semblant de vérité à l'assertion de M. Fremy. Je tire ces deux modes de mes travaux, comme une déduction logique des principes qu'ils

M. Pasteur brise une de ces ampoules devant l'Académie. On entend un petit sifflement dû au dégagement du gaz carbonique comprimé, et l'on voit à la surface de la goutte une couronne de petites bulles ; MM. Chevreul, Cl. Bernard, Wurtz, placés à côté de M. Pasteur, constatent facilement ces faits.

Les moisissures n'apparaissent pas dans ce genre d'expériences. La raison en est facile à donner ; nouvelle preuve de l'erreur des raisonnements de M. Fremy.

J'ajoute en terminant que M. Fremy me fait dire dans ses Notes une foule de choses que je n'ai jamais dites. Je n'en relèverai qu'une :

« M. Pasteur, dit-il, nie avec énergie la production des ferments par les moisissures. »

Je n'ai rien dit de semblable dans tout le cours de la discussion, soit verbalement, soit par écrit. C'est M. Fremy qui, jusqu'à présent, a voulu établir une distinction absolue entre les moisissures et les ferments.

J'ai si peu nié la production des ferments par les moisissures, que j'ai annoncé que les moisissures pouvaient, à la volonté de l'opérateur, jouer ou non le même rôle que les cellules de la levûre, et inversement j'ai donné le moyen de provoquer dans la levûre un mode de nutrition qui la rapproche des mucédinées proprement dites.

M. Fremy cherche sans cesse à déplacer les questions. Voici ce qui est en litige avant toute autre chose : D'OÙ VIENT LA LEVÛRE QUI FAIT FERMENTER LE MOÛT DE RAISIN DANS LA CUVE DE VENDANGE? M. Fremy répond, sans fournir la moindre preuve, qu'elle provient de l'intérieur des grains de raisin, du suc même du fruit, par une transformation des matières albuminoïdes. Je réponds, et j'en donne la démonstration péremptoire, évidente, que cette levûre provient uniquement de l'exté-

ont échoué, car je n'ai pas réalisé les essais que je vais indiquer. Premièrement, on pourrait s'arranger pour soustraire entièrement la goutte, dès le moment de son extraction de la grappe broyée, à l'action de l'oxygène de l'air. Ce serait une manière de reproduire l'expérience de Gay-Lussac. J'ai fait observer depuis longtemps que, dans cette expérience, ce n'était pas la matière albuminoïde qui avait besoin d'oxygène pour se transformer en levûre, mais que c'était le germe de la levûre apporté par le mercure, par les grains du raisin, etc., qui avait besoin d'un peu d'oxygène pour germer. L'expérience de Gay-Lussac est vraie, théoriquement parlant ; mais je suis persuadé que Gay-Lussac lui-même ne l'a jamais réussie complètement, et qu'il n'a fait que retarder considérablement la fermentation des grains écrasés sous la cloche, du moins en la faisant telle qu'il l'a décrite.

Deuxièmement, on pourrait exagérer énormément le rapport de la quantité d'air restant dans l'ampoule à la quantité de jus brut introduit. Dans ce cas, on pourrait espérer donner aux germes de la levûre provenant de la surface des grains ou de la grappe la forme de développement aérobie de la levûre, forme sur laquelle j'appellerai bientôt l'attention. Pour le sens du mot *aérobie*, voir la Note où j'ai proposé ce terme et son correspondant *anaérobie*, dans les *Comptes rendus de l'Académie*, année 1863 (LVI, p. 1189-1194), et p. 175-181 du présent volume.

rieur des grains, des poussières en suspension dans l'air ou déposées à la surface des grains ou du bois de la grappe.

C'est dans ce cercle d'affirmations que j'ai la prétention d'enfermer M. Fremy.

RÉPONSE [1] A M. FREMY [2]

Je laisse de côté la dissertation que l'Académie vient d'entendre, et je la prie de permettre que la discussion soit maintenue dans le domaine des faits. Montrez donc, dirai-je à M. Fremy, des gouttes de jus de raisin naturel qui ne fermentent pas. Montrez donc des grains d'orge abandonnés dans l'eau sucrée et qui produisent des cellules de ferment intracellulairement.

Pourquoi ne répondez-vous pas à l'expérience que je viens de décrire et qui renverse votre étrange assertion au sujet des petites quantités de jus de raisin qui, selon vous, ne peuvent fermenter ?

Vous maintenez votre assertion sans apporter aucune preuve, tandis que je m'efforce d'en fournir qui soient claires et concluantes. On ne peut continuer la discussion sous cette forme.

Je propose donc que l'Académie veuille bien nommer une Commission qui se prononcerait sur l'exactitude de mes expériences, en dehors de toute interprétation de leurs résultats, et sans aucune préoccupation de doctrine.

Voici le programme des huit expériences qui me sont personnelles et dont je demande la vérification :

1° Le moût de raisin cuit ne fermente jamais au contact de l'air privé des germes qui s'y trouvent en suspension ;

2° Le moût de raisin cuit de l'expérience précédente fermente quand

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 4 novembre 1872, LXXV, p. 1062-1063.

2. Fremy. Observations au sujet de la lecture de M. Pasteur [c'est-à-dire de la Note précédente]. *Ibid.*, p. 1058-1062. « ... J'affirme de nouveau, dit M. Fremy, que, dans de nombreuses expériences que j'ai faites cet été, de petites quantités de suc de raisin ont résisté à la fermentation : je soutiens donc que l'expérience du raisin n'a pas de valeur réelle dans la discussion, et que, lorsque M. Pasteur admet qu'une goutte de suc de raisin extraite du fruit n'entre pas en fermentation parce qu'elle n'a pas reçu des germes de l'air, cette inertie de la liqueur est due à toute autre cause... Je soutiens que, si la fermentation ne se produit pas, cela n'est pas dû à l'absence des poussières, mais aux conditions dans lesquelles le liquide fermentescible est placé... » (*Note de l'Édition*.)

on y introduit une très petite quantité de l'eau de lavage de la surface des grains de raisin ou de la surface du bois de la grappe ;

3° Le moût de raisin ne fermente pas si l'on y introduit cette eau de lavage après qu'on l'a fait bouillir ;

4° Le moût de raisin ne fermente pas si l'on y introduit une très petite quantité de l'intérieur d'un grain de raisin ;

5° Les raisins placés dans une atmosphère d'acide carbonique donnent immédiatement de l'alcool ;

6° Dans l'intérieur des grains de l'expérience précédente il n'y a pas de cellules de levûre, alors même que la quantité d'alcool produite est considérable ;

7° *Les gouttes d'une grappe de raisin écrasé fermentent comme les grandes masses de vendange* ;

8° Le moût de raisin naturel filtré donne naissance à la petite levûre que j'ai signalée et figurée dans ma Note du *Bulletin de la Société chimique* pour 1862 [1]. Elle apparaît de prime-saut avec sa grosseur et *non avec toutes les grosseurs entre le point apercevable et la dimension des bourgeons détachés des cellules*. Cette dernière expérience a pour objet de répondre à M. Trécul, qui, plus logique que M. Fremy, n'hésite pas à déclarer que la levûre peut naître spontanément, à même les matières albuminoïdes dissoutes.

J'espère que l'Académie voudra bien qu'une Commission désignée dans son sein vérifie les résultats que j'annonce et en constate l'exactitude, particulièrement l'expérience 7 sur la fermentation des petites quantités de jus de raisin, expérience dont M. Fremy avait fait lui-même le nœud de la discussion, à l'occasion des premières expériences du programme ci-dessus.

M. Fremy n'accepta pas cette proposition de Pasteur :

« ... Je pense, dit-il, que le mieux est de laisser la discussion continuer en toute liberté... Quant à l'intervention des membres de l'Académie, je ne la comprends que dans le sens d'une collaboration, et non dans celui d'un jugement que M. Pasteur demande. » *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXV, 1872, p. 1063-1065.

Pasteur lui fit la Réponse suivante.]

1. *Voir* p. 150-158 du présent volume : Quelques faits nouveaux au sujet des levûres alcooliques. (*Note de l'Édition.*)

RÉPONSE (1) A M. FREMY (2)

M. Fremy n'accepte pas ma proposition, et il voudrait entre lui, M. Trécul et moi, un travail en commun en présence de deux de nos confrères qu'il prend la peine de désigner lui-même, MM. Decaisne et Robin.

Je déclare cette proposition inacceptable. Je demande à l'Académie des juges revêtus d'un mandat officiel et non des témoins bénévoles, qui seraient dans l'impossibilité de remettre à l'Académie un Rapport sur une mission qu'elle n'aurait pas demandée et qui n'aurait pas été acceptée par eux.

Les premières expériences de mon programme ci-dessus étaient vivement contestées par M. Fremy. Il me semble qu'il ne les conteste plus aujourd'hui; mais il maintient son affirmation au sujet du jus naturel du raisin qui, d'après lui, ne fermente pas en petite quantité. Je maintiens le contraire et je demande que mon assertion soit contrôlée par l'Académie.

RÉPONSE (3) A M. TRÉCUL (4)

M. Trécul traite particulièrement deux points principaux dans la lecture que l'Académie vient d'entendre : celui de la transformation de la matière albuminoïde dissoute en cellules de levûre par voie de génération spontanée ou d'hétérogénèse, et en second lieu celui de la

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 4 novembre 1872, LXXV, p. 1066.

2. Fremy. Seconde réponse à M. Pasteur. *Ibid.*, p. 1063-1065.

3. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 11 novembre 1872, LXXV, p. 1167-1168.

4. Trécul. Remarques sur l'origine des levûres lactique et alcoolique. *Ibid.*, p. 1160-1167. (*Notes de l'Édition.*)

transformation des spores du *penicillium glaucum* en levûre alcoolique de la bière.

Je ne puis que reproduire ce que j'ai écrit sur ces deux sujets en 1861 et en 1862 [1], et ce que j'ai répété de nouveau devant l'Académie dans le cours de cette discussion :

1° Lorsque dans du moût de raisin naturel préalablement filtré une levûre apparaît, il n'y a pas tous les passages entre le point apercevable et la dimension des cellules de levûre ou des bourgeons détachés de ces cellules, comme cela serait nécessaire dans l'hypothèse de M. Trécul.

2° Je n'ai jamais pu obtenir la transformation certaine du *penicillium* en levûre de bière ou de raisin, pas plus qu'on n'obtient celle du *mucor mucedo* en ces mêmes levûres ; mais j'ai bien reconnu les causes d'erreur possibles dans ce genre d'observations, causes d'erreur que M. Trécul, selon moi, n'aura pas suffisamment écartées [2].

1. *Voir* Sur les prétendus changements de forme et de végétation des cellules de levûre de bière suivant les conditions extérieures de leur développement, p. 139 du présent volume. — Quelques faits nouveaux au sujet des levûres alcooliques, p. 150-158 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

2. Que M. Trécul me permette d'ajouter ici quelques mots qui lui feront mieux apprécier, je l'espère, toute la délicatesse de ces recherches et la rigueur que j'essaye d'apporter dans mes conclusions.

Il y a quatre mois environ, lorsque j'ai voulu rédiger l'ensemble de mes expériences relatives à la transformation des articles du *mycoderma vini* en levûre, des doutes se sont présentés tout à coup à mon esprit sur la vérité du fait dont il s'agit, et qui, pour M. Trécul, on vient de l'entendre, est toujours indiscutable. J'ai craint que tous ces passages, si faciles à constater en apparence quand on suit la méthode de la submersion que j'ai indiquée, ne soient qu'illusion, et que la levûre, qui prend réellement naissance dans les expériences, dérive non des articles de *mycoderma vini* submergés et plus ou moins privés d'air, mais d'un ou plusieurs germes de cette levûre que l'air aurait apportés pendant la préparation du *mycoderma*, et dont le développement ne se manifesterait qu'après la submersion du voile. Pour lever ces doutes, j'ai institué les expériences les plus nombreuses, les plus variées, et je n'arrive pas, depuis quatre mois, je le répète, à me satisfaire par des preuves à l'abri de tout reproche. Je conserve encore en ce moment mes doutes. Que, par cet exemple, M. Trécul veuille bien comprendre la difficulté de conclure rigoureusement dans ces études si délicates. Quant à la transformation du *mycoderma vini* en *penicillium* ou inversement, annoncée autrefois par Turpin, soutenue depuis lors par divers observateurs, et que M. Trécul vient de défendre de nouveau, je déclare, quant à moi, que cette transformation ne s'est jamais produite dans mes expériences, et que je la considère comme absolument erronée.

NOTE [1]
AU SUJET DE LA COMMUNICATION DE M. FREMY, INSÉRÉE AU DERNIER COMPTE RENDU [2]

Je crois que la discussion qui est pendante devant l'Académie, discussion qui a été, l'an dernier, comme dans ces derniers temps, si malencontreusement soulevée par M. Fremy, touche enfin à son terme.

En effet, M. Fremy, après avoir déclaré itérativement, dans sa dernière communication écrite, qu'il tient considérablement à l'interprétation des faits et aux théories, ajoute, page 1059 :

« Si M. Pasteur le désire, j'admettrai l'exactitude de ses expériences, même de celles que je n'ai pas encore contrôlées. »

Je m'empresse de déclarer que c'est à cela seulement que j'ai toujours tenu et que je tiens encore, et que c'est là seulement ce que je désire que fasse M. Fremy, à savoir : qu'il admette l'exactitude de mes expériences. Si M. Fremy s'était exprimé, dans la dernière séance, comme je viens de dire qu'il l'a fait au *Compte rendu*, immédiatement j'aurais mis fin à la discussion, c'est-à-dire à la défense de l'exactitude de mes expériences ; car l'Académie me rendra cette justice que je n'ai jamais fait que soutenir la vérité des faits que j'avais exposés devant elle. J'ai donné des conclusions à mes expériences, je les ai interprétées comme chacun fait pour ses propres travaux, et comme c'est le droit et même le devoir de tout expérimentateur de le faire, et je crois très fermement à toutes mes conclusions ; mais ce que j'ai maintenu exclusivement devant l'Académie, c'est la vérité des faits nouveaux que je lui ai fait connaître.

[A la Réponse verbale de M. Fremy (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXV, 1872, p. 1170-1172), Pasteur répliqua [3] :]

Puisque M. Fremy me donne satisfaction sur l'exactitude de mes expériences, je déclare la discussion close en ce qui me concerne ; dans le cas contraire, j'aurais persisté dans la proposition que j'ai faite lundi à l'Académie de nommer une Commission.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 11 novembre 1872, LXXV, p. 1170.
2. Fremy. Observations verbales. *Ibid.*, p. 1058-1062.
3. *Ibid.*, p. 1172. *Notes de l'Édition.*

OBSERVATION [1] SUR LA RÉDACTION DU DERNIER COMPTE RENDU

Dans le *Compte rendu* de la dernière séance, sous la rubrique : *Réponse verbale*, etc..., M. Fremy, parlant de moi, s'exprime ainsi [2] :

« Notre confrère, qui a sans doute ses motifs pour mettre fin a un débat dans lequel il perd évidemment du terrain, ... »

Je déclare que M. Fremy n'a rien dit de semblable dans la dernière séance. S'il eût exprimé cette pensée, soit dans les termes que je viens de rappeler, soit dans des termes équivalents, j'aurais immédiatement protesté contre cette étrange assertion, dans laquelle notre confrère cherche à donner le change aux lecteurs des *Comptes rendus* sur une situation si claire pour tous, QUI A COMMENCÉ, DE SA PART, PAR UNE CONTESTATION DE L'EXACTITUDE DE MES EXPÉRIENCES, ET QUI A FINI, DE SA PART ENCORE, PAR UN ACQUIESCEMENT A L'EXACTITUDE DE TOUTES CES MÊMES EXPÉRIENCES. Je suis toujours prêt à discuter sur des faits précis, mais non sur des opinions spéculatives.

[Bouillaud exprime son regret que la proposition faite par Pasteur de nommer une Commission n'ait pas été adoptée. « En effet, dit Bouillaud, la question la plus controversée de la théorie des fermentations *proprement dites*, c'est, sans contredit, celle qui roule sur l'origine des ferments. C'eût été un résultat des plus importants, que de résoudre d'une manière définitive une telle question. M. Pasteur était convaincu que les expériences proposées par lui et faites par lui conduiraient à ce résultat. Je partage son sentiment, et de là les regrets que je viens d'exprimer devant l'Académie, et aussi mon vif désir que ces expériences soient un jour pratiquées. »] [3].

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 18 novembre 1872, LXXV, p. 1217.

2. FREMY. Réponse verbale à la Note précédente de M. Pasteur. *Ibid.*, séance du 11 novembre 1872, LXXV, p. 1170-1172.

3. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. Ibid., p. 1217-1218. (*Notes de l'Édition*.)

[NOTE] (1)

M. Pasteur, après la lecture faite par M. Trécul dans la séance du 18 novembre dernier [*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXV, 1872, p. 1218-1223], avait exprimé le désir que M. le Secrétaire perpétuel voulût bien parapher une série de dessins qu'il avait déposés sur le bureau de l'Académie avant la séance. Ces dessins font connaître le développement des groupes de cellules colorées en jaune plus ou moins foncé, dont M. Pasteur avait fait mention dans sa Note du 7 octobre [*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXV, 1872, p. 781-782, et p. 385-386 du présent volume].

Ces dessins ont été paraphés par M. le Secrétaire perpétuel, à la date du 18 novembre.

RÉPONSE (2)
A UNE NOTE DE M. TRÉCUL (3)

Ce n'est pas une communication académique que M. Trécul a faite lundi dernier, c'est une sorte de réquisitoire dans lequel, sans apporter une seule observation originale, notre confrère se livre à une discussion de textes et épilogue sur des citations qu'il paraît ne pas comprendre ou qu'il ne comprend pas réellement. La clarté que je m'efforce d'apporter dans mes recherches et dans leur exposition se transforme, sous sa plume, en assertions « équivoques » et « ambiguës ». Il s'interroge sur ce que j'ai dit, sur ce que j'ai fait, sur ce que je ferai ; il répond à ses doutes par des dissertations soupçonneuses ou des interprétations gratuites, et conclut que cette discussion fatigue tout le monde, comme si j'étais l'auteur de la reprise de cette discussion, parce que je suis venu lire à l'Académie, le mois dernier, le

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 2 décembre 1872, LXXV, p. 1462.

2. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 15 décembre 1873, LXXVII, p. 1396-1399.

3. TRÉCUL. Réponse à M. Pasteur concernant l'origine de la levûre de bière. *Ibid.*, séance du 8 décembre 1873, LXXVII, p. 1313-1321. (*Note de l'Édition.*)

résumé de trois années de recherches assidues sur un des problèmes les plus difficiles et qui, depuis plusieurs siècles, défie les efforts de toutes les personnes qui se sont occupées de l'industrie de la bière [1].

La faiblesse des arguments invoqués par M. Trécul est si grande que je ne prendrais pas la peine d'y répondre s'il ne s'agissait de deux des sujets les plus élevés de la philosophie naturelle, la question des générations dites *spontanées* et celle de la transformation des espèces. Si l'on n'y prend garde, cette hypothèse du transformisme introduira dans la science une foule d'erreurs, parce qu'elle dispense beaucoup de personnes d'observations approfondies.

L'Académie sait ce que veulent MM. Fremy et Trécul : tous deux soutiennent l'une des formes de la génération spontanée ; ils prétendent que les matières albuminoïdes peuvent s'organiser d'elles-mêmes en des êtres nouveaux ; mais ils n'ont produit jusqu'à ce jour, à l'appui de cette assertion, aucune expérience rigoureuse, tandis que j'ai démontré l'erreur de leur hypothèse par de nombreuses expériences, faites sur les liquides les plus altérables de l'économie, notamment avec le sang et l'urine pris à l'état naturel.

On n'a pas oublié que, au cours de la discussion de 1872 [1871], comme M. Fremy parlait sans cesse de la fermentation du jus de raisin, dont les matières albuminoïdes devaient s'organiser suivant lui, au contact de l'air, en cellules de levûre alcoolique par la force vitale de leur hémiorganisation, j'ai posé à notre confrère cette question : « Reconnaîtriez-vous que vous vous trompez, si je venais vous offrir du moût de raisin naturel, exposé au contact de l'air pur, et vous démontrer qu'il est impropre à entrer en fermentation alcoolique et à donner naissance à des cellules de levûre [2] ? » Quand je tenais publiquement ce langage à M. Fremy, je n'avais pas encore fait l'expérience dont je parle ; mais c'est le propre des théories vraies de conduire logiquement à des déductions que l'expérience n'a plus qu'à contrôler. Depuis, j'ai fait cette expérience, et j'ai prouvé que le jus du raisin ne peut produire des cellules de levûre que par l'apport de poussières extérieures, naturellement existantes à la surface des grains et de la grappe. Mais j'ai tort de rappeler le nom de M. Fremy, puisque notre confrère garde le silence depuis l'année dernière. Néanmoins, il avait promis solennellement à l'Académie la lecture d'un grand Mémoire

1. PASTEUR. Études sur la bière ; nouveau procédé de fabrication pour la rendre inaltérable. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXVII, 1873, p. 1140-1148. *Voir* tome V des Œuvres de Pasteur.

2. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 26 décembre 1871, LXXIII, p. 1461, et p. 369 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

sur la fermentation, et les derniers mots qu'il ait publiés dans les *Comptes rendus* sont les suivants :

« Je prends l'engagement de démontrer avant peu, à tous les partisans de M. Pasteur, qu'il n'existe pas de cellules de ferment alcoolique dans des milieux gazeux où la fermentation alcoolique se produit facilement, et que, par conséquent, les ferments sont engendrés par l'organisme. » (Séance du 11 novembre 1872, LXXV, p. 1172.)

Les ferments sont engendrés par l'organisme ! Voilà la dernière assertion que M. Fremy a pris l'engagement de démontrer à tous les partisans de M. Pasteur, et ceux-ci attendent toujours.

M. Trécul va plus loin encore que M. Fremy. Pour lui, les matières albuminoïdes donnent, par génération spontanée, des bactéries ; celles-ci, des cellules de levûre lactique ; celles-ci, des cellules de levûre de bière ; ces dernières, à leur tour, du *mycoderma vini* et du *penicillium glaucum*, et probablement beaucoup d'autres espèces. Je soutiens, au contraire, que tous ces faits sont erronés, que ces transformations ne sont qu'hypothèses à l'appui desquelles on ne peut citer que des faits confus, mal observés, entachés de causes d'erreur qu'on n'a pas su dégager au milieu des difficultés inhérentes aux expériences.

Voici comment M. Trécul croit établir que le *penicillium glaucum* se transforme en cellules de levûre alcoolique.

M. Pasteur expose de vive voix le dernier alinéa de la page 1169 du tome LXXV des *Comptes rendus* emprunté à une Note de M. Trécul [1] : il complète le détail de la manipulation par des renseignements que M. Trécul a bien voulu lui fournir de vive voix ; ensuite, il fait ressortir les nombreuses causes d'erreur de ces observations. Toute la manipulation est faite au contact de l'air, et les spores du *penicillium* sont prises sur des citrons moisis. Or, il suffit d'observer au microscope les poussières de la surface d'un citron pour y reconnaître une multitude de spores et de cellules organisées, très différentes souvent des spores de *penicillium*. M. Pasteur décrit ensuite la méthode qu'il emploie pour démontrer le contraire de l'assertion de M. Trécul ; toute la manipulation est faite à l'abri des poussières atmosphériques avec des spores de *penicillium* qui a poussé dans l'air *pur* ; enfin M. Pasteur décrit le moyen de répéter les observations de M. Trécul dans les mêmes conditions que ce dernier, c'est-à-dire en déposant des spores de *penicillium* dans de petits flacons de moût de bière, mais avec la précaution d'opérer sur des spores parfaitement pures. Dans ce cas, on n'obtient jamais la transformation dont parle M. Trécul. Afin de mieux convaincre ce dernier, M. Pasteur a apporté à la séance de petits flacons semblables à ceux dont se sert M. Trécul, ensemencés avec des spores pures de *penicillium* depuis mardi dernier ; il prie M. Trécul de

1. Trécul. Réponse aux objections de M. Pasteur. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXV, 1873, p. 1168-1169. (*Note de l'Édition.*)

vouloir bien les accepter, de les observer à loisir, et il annonce que M. Trécul sera dans l'impossibilité d'y trouver la trace d'une transformation quelconque des spores semées en cellules de levûre. M. Pasteur offre en outre à M. Trécul un de ses ballons, où se trouve du *penicillium* à l'état de pureté, et de petits flacons de moût non encore ensemencés, et il prie M. Trécul de bien vouloir repéter chez lui ses anciennes observations, avec ces éléments de travail ; il l'assure que, cette fois, il reconnaîtra encore que la transformation des spores de *penicillium* en levûre n'existe jamais dans les conditions où M. Trécul dit l'avoir observée.

M. Trécul pourra s'assurer cependant qu'en déposant dans les flacons une quantité imperceptible de levûre de bière, la fermentation s'y établira promptement, avec développement des cellules de levûre ; enfin M. Trécul pourra s'assurer également que les spores de *penicillium* y germent très bien.

Lorsque M. Trécul aura achevé le petit travail que je sollicite de son dévouement à la connaissance de la vérité, je remettrai à M. Trécul, dans une de nos séances, les éléments d'un travail tout semblable sur le *mycoderma vini*. En d'autres termes, j'apporterai à M. Trécul du *mycoderma vini* parfaitement pur, avec lequel il pourra reproduire ses anciennes observations et reconnaître l'exactitude des faits que j'ai annoncés en dernier lieu.

Que l'Académie me permette une dernière réflexion. Il faut avouer que mes contradicteurs ont été vraiment bien malencontreux de prendre occasion de ma lecture sur les maladies de la bière pour renouveler cette discussion. Comment n'ont-ils pas compris que mon procédé de fabrication de la bière inaltérable ne pourrait exister si le moût de bière pouvait donner au contact de l'air toutes les transformations qu'ils annoncent? Et puis, ce travail sur la bière, fondé tout entier sur la découverte et la connaissance des propriétés de quelques êtres microscopiques, est-ce qu'il n'est pas venu à la suite de mes études sur le vinaigre, sur les propriétés du *mycoderma aceti*, sur le procédé nouveau d'acétification que j'ai fait connaître (1)? Ce dernier travail n'a-t-il pas eu pour suite mes études sur les causes des maladies des vins et les moyens de les prévenir, toujours fondées sur la découverte et la connaissance d'êtres microscopiques non spontanés (2)? Ces dernières recherches n'ont-elles pas été suivies de la découverte d'un moyen préventif de la maladie des vers à soie, déduit également de l'étude d'organismes microscopiques non spontanés (3)?

1. *Voir* tome III des Œuvres de Pasteur : Études sur le vinaigre et sur le vin.
2. *Ibid.*
3. *Voir* tome IV des Œuvres de Pasteur : Études sur la maladie des vers à soie. (*Notes de l'Édition.*)

Est-ce que toutes les recherches auxquelles je me suis livré depuis dix-sept ans ne sont pas, malgré les efforts qu'elles m'ont coûtés, le produit des mêmes idées, des mêmes principes, poussés, par un travail incessant, dans des conséquences toujours nouvelles ? La meilleure preuve qu'un observateur est dans la vérité, c'est la fécondité non interrompue de ses travaux.

OBSERVATIONS (1)
AU SUJET DU PROCÈS-VERBAL DE LA DERNIÈRE SÉANCE

J'ai deux observations à faire au sujet du procès-verbal de la dernière séance : la première, c'est que M. Trécul a refusé d'emporter les vases que j'avais préparés d'après ses indications, mais en éloignant les causes d'erreur que, suivant moi, il n'a pas évitées et qui l'ont conduit à un résultat erroné; la seconde, c'est que je tiens à dire à l'Académie que, pour faire amende honorable de la vivacité avec laquelle j'ai répondu à un de nos confrères, j'ai supprimé, dans ma Note de lundi dernier, les expressions qui ont paru blessantes. Par respect pour l'Académie, j'aurais dû ne pas me montrer froissé d'une lecture dans laquelle, huit pages durant de nos *Comptes rendus*, sans la moindre provocation de ma part, M. Trécul avait porté sur l'exposition de mes recherches des appréciations soupçonneuses (2). Je plaide là les circonstances atténuantes de ma mauvaise humeur, mais les torts d'autrui n'autorisent pas à pécher soi-même.

Par un respect encore plus grand pour la vérité, je maintiens de nouveau avec force que mes travaux de ces dix-sept dernières années ont établi définitivement que jamais on n'a vu les matières albuminoïdes, naturelles ou cuites, donner naissance, par voie de génération spontanée ou autrement, à des ferments organisés, ou à des *mycoderma*, ou à des moisissures; que ces matières se comportent seulement comme des aliments de ces petits êtres, et que ces derniers ne se développent à leur aide qu'autant que leurs germes, nés de parents semblables à eux, ont été apportés du dehors.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 22 décembre 1873, LXXVII, p. 1441-1442.
2. TRÉCUL. Réponse à M. Pasteur concernant l'origine de la levûre de bière. *Ibid.*, séance du 8 décembre 1873, LXXVII, p. 1313-1321 (*Note de l'Édition.*)

RÉPONSE [1] A M. TRÉCUL [2]

M. Trécul vient de dire qu'il n'avait pas voulu emporter *les flacons* que j'avais préparés, parce que ces flacons ne remplissaient pas les conditions voulues.

M. Trécul a dit que ces flacons ne contenaient pas d'air. C'est une erreur. Si M. Trécul avait pris la peine de venir regarder les flacons déposés sur le bureau, il aurait vu qu'ils contenaient de l'air à l'origine, et que la meilleure preuve en est que les spores semées avaient germé, qu'un *mycelium* même était visible, à l'œil nu, à travers les parois des flacons.

M. Trécul reproche également au *ballon* contenant du *penicillium pur*, fructifié, que j'avais apporté, de contenir des spores trop vieilles. C'est une erreur. Ce ballon avait été, comme les flacons dont je viens de parler, mis en expérience le mardi 9 décembre [3], le lendemain de la communication de M. Trécul, c'est-à-dire depuis six jours seulement. Enfin rien de plus facile que de faire traverser le ballon par un courant d'air pur et de placer la moisissure en contact avec autant d'air qu'on peut le désirer.

Les critiques de M. Trécul sont donc sans fondement.

RÉPONSE [4] A M. TRÉCUL [5]

M. Trécul a rouvert la discussion par une lecture de huit pages, portant exclusivement sur le *penicillium glaucum* et le *mycoderma vini*.

J'ai accepté le débat sur ces deux productions. J'entends l'y maintenir, en ce qui me concerne.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 22 décembre 1873, LXXVII, p. 1444-1445.

2. Trécul. Réponse à M. Pasteur. *Ibid.*, p. 1442-1444.

3. Le texte des *Comptes rendus de l'Académie des sciences* porte par erreur : 16 décembre.

4. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 29 décembre 1873, LXXVII, p. 1519-1520.

5. Trécul. Nouvelle réponse à M. Pasteur, concernant l'origine de la levûre de bière. *Ibid.*, p. 1512-1519. (*Notes de l'Édition.*)

Par un dispositif qui m'est propre, décrit par moi de vive voix dans la séance du 15 décembre[1], j'ai obtenu des résultats tout autres que ceux qui ont été annoncés par M. Trécul[2]. Je ne me suis pas arrêté là : j'ai reproduit les observations de M. Trécul en employant la manipulation même qu'il a décrite, mais en me servant du *penicillium pur*, c'est-à-dire en éloignant les causes d'erreur que je reproche aux observations de notre confrère. Ici encore, mes résultats ont été tout autres que ceux de M. Trécul.

Enfin je me suis donné la peine d'apporter, en séance, à M. Trécul des flacons préparés comme il l'indique. M. Trécul a refusé de les emporter pour les observer à loisir.

Dans cet état de choses, dont je prends acte devant l'Académie, je déclare que je ne répondrai plus à M. Trécul tant qu'il n'aura pas, soit seul, soit avec l'aide de M. Fremy :

1° Reproduit mes expériences, au sujet desquelles je lui offre toutes les explications, verbales ou écrites, qu'il pourra désirer;

2° Refait ses propres expériences en éloignant les causes d'erreur que j'y ai signalées.

Plus tard, j'examinerai, s'il y a lieu, les travaux étrangers dont M. Trécul a parlé. Quant à présent, je me borne aux sujets sur lesquels il a plu à notre confrère de rouvrir le débat, et j'entends, comme c'est mon droit, y fixer la discussion de la manière la plus stricte.

C'est le seul moyen de ne pas permettre qu'elle s'égare. Du reste, au point où nous en sommes, je me sens autorisé à déclarer que l'accueil fait à mes travaux et les soins que je leur consacre me font un devoir d'en poursuivre les conséquences et le cours, laissant à chacun à les apprécier selon ses lumières et selon son gré. Le temps les jugera[3].

1. *Ibid.*, p. 1298, et p. 413-414 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

2. Déjà, en 1861, j'ai publié des résultats identiques devant la Société philomathique de Paris. (*Note de Pasteur.*)

Voir cette communication p. 139 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

3. M. Fremy publia, en 1875, comme suite à la discussion entre Pasteur et lui, une brochure intitulée : Sur la génération des ferments. Pasteur en fit la critique dans une Note à l'Académie des sciences, lue le 5 juin 1876, ayant pour titre : De l'origine des ferments organisés. *Voir* p. 445-449 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

OBSERVATIONS [1]
AU SUJET DE TROIS NOTES DE MM. BÉCHAMP ET ESTOR [2]

J'ai lu avec attention ces trois Notes, ou réclamations de priorité. Je n'y ai trouvé que des appréciations dont je me crois autorisé à contester l'exactitude, et des théories dont je laisse à leurs auteurs la responsabilité. Plus tard, et à loisir, je justifierai ce jugement.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 9 décembre 1872, LXXV, p. 1573-1574.

2. Béchamp. Observations relatives à quelques communications faites récemment par M. Pasteur, et notamment à ce sujet : « La levûre qui fait le vin vient de l'extérieur des grains de raisin. » *Ibid.*, p. 1284. — Seconde observation sur quelques communications récentes de M. Pasteur, notamment sur la théorie de la fermentation alcoolique. *Ibid.*, p. 1519-1523. — Béchamp et Estor. Observations sur la communication faite par M. Pasteur le 7 octobre 1872. *Ibid.*, p. 1523-1526. (*Note de l'Édition.*)

ÉTUDES SUR LA BIÈRE

Le 17 novembre 1873, Pasteur fit à l'Académie des sciences une communication sur les maladies de la bière, corrélatives du développement et de la multiplication d'organismes microscopiques, et sur un nouveau procédé de fabrication pour la rendre inaltérable.

En 1876, il publia un volume intitulé : « Etudes sur la bière, ses maladies, causes qui les provoquent, procédé pour la rendre inaltérable, avec une théorie nouvelle de la fermentation. » Après avoir étudié les causes des maladies de la bière et de celles du moût qui sert à la produire, Pasteur relate des travaux antérieurs et des expériences nouvelles sur l'origine des ferments, la culture de divers micro-organismes à l'état de pureté, les levûres alcooliques. Puis il résume sa conception des fermentations. Les principes généraux qu'il expose au cours de cet ouvrage « renferment implicitement, dit-il, les conditions d'un nouveau procédé de fabrication dont le caractère essentiel serait de fournir une bière d'une conservation facile, voire même inaltérable ».

La communication à l'Académie des sciences sur les maladies de la bière et cet ouvrage seront reproduits dans le tome V des Œuvres de Pasteur : « Etudes sur la bière ». (*Note de l'Édition.*)

PRODUCTION DE LA LEVURE DANS UN MILIEU MINÉRAL SUCRÉ (1)

J'ai annoncé autrefois et établi par des preuves que je considérais comme décisives (2) que, non seulement il ne se forme pas d'ammoniaque pendant la fermentation alcoolique comme on le croyait avant moi, mais que l'ammoniaque ajoutée à des moûts en fermentation disparaît pour contribuer à la formation des cellules du ferment, matière riche en principes azotés (3).

J'ai prouvé, en outre (4), que la levûre alcoolique peut se multiplier dans un milieu composé de sucre pur, en solution aqueuse, d'un sel d'ammoniaque et des cendres de levûre ou des phosphates alcalins et terreux, entre autres ceux de potasse et de magnésie. Il est assurément peu d'expériences plus propres à nous éclairer sur la nature de la levûre et sur celle de la fermentation alcoolique. On y trouve également la première preuve que les matières albuminoïdes de certains êtres vivants peuvent se constituer par le sucre et l'ammoniaque, par les phosphates et les sulfates minéraux, à l'abri de la lumière et de la matière verte.

Cette expérience était en contradiction formelle avec la théorie de la fermentation proposée par Liebig; aussi le célèbre chimiste allemand refusa de croire que les résultats précédents fussent vrais; du moins, profitant des difficultés que j'avais éprouvées à bien réussir l'expérience dont je parle, il essaya de trouver dans ces difficultés

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 26 janvier 1874, LXXVIII, p. 213-217; et *Bulletin de la Société centrale d'agriculture de France*, séance du 28 janvier 1874, 3e sér., IX, 1873-1874, p. 217-225 (sous le titre : Sur la production de la levûre de bière dans un milieu minéral sucré).

2. *Voir* p. 31-32 du présent volume : Nouveaux faits concernant l'histoire de la fermentation alcoolique. (*Notes de l'Édition.*)

3. L'azote ne se dégage pas à l'état gazeux pendant la fermentation. Le gaz acide carbonique de la fermentation est complètement absorbé par la potasse. Le résidu de $\frac{1}{10000}$ environ d'azote qu'on obtient à la suite de cette absorption doit être attribué à l'azote de l'air des solutions de potasse même les plus concentrées.

4. *Voir* p. 33 du présent volume : Sur la fermentation alcoolique. (*Note de l'Édition.*)

mêmes une fin de non recevoir de son exactitude. Lorsque j'en publiai tous les détails en 1860 (1), j'indiquai avec soin les causes possibles d'insuccès, et je fis voir, en particulier, que les milieux minéraux sucrés sont beaucoup plus aptes à nourrir les bactéries et la levûre lactique et d'autres productions inférieures que la levûre de bière elle-même; par exemple, ces milieux se remplissent facilement de divers organismes quand on les expose au contact de l'air, tandis qu'on n'y voit pas naître les levûres alcooliques, surtout au début des expériences (2). Or, dans l'obligation où j'étais alors d'opérer sur des matières plus ou moins souillées par les poussières de l'air atmosphérique et de me servir, pour semence, de levûre ordinaire qui est toujours plus ou moins impure, je n'avais jamais obtenu, à l'aide des milieux minéraux, une fermentation simple et active. Les fermentations lactique, visqueuse et autres qui apparaissent spontanément nuisaient promptement au développement de la levûre par l'acidité qu'elles apportaient dans la liqueur. Cela n'ôtait rien à la rigueur de la conclusion que j'avais déduite de mes expériences. On peut même dire que le point de vue général et philosophique, seul intéressé ici, était doublement satisfait, puisque je démontrais que les milieux minéraux étaient propres au développement simultané de plusieurs ferments organisés, au lieu d'un seul. L'association fortuite de diverses levûres ne pouvait infirmer cette conclusion que tout l'azote des cellules des levûres alcoolique et lactique provenait de l'azote des sels ammoniacaux, et que tout le carbone de ces ferments avait été emprunté au sucre, puisque le sucre était la seule substance qui, dans le milieu soumis aux expériences, contînt du carbone. Liebig se garda bien de faire cette remarque, qui aurait détruit tout l'échafaudage de ses critiques, et il crut se donner les apparences d'un contradicteur sérieux en arguant que je n'avais pas eu une fermentation alcoolique simple. M. Fremy agit, à peu de chose près, de la même manière, lorsqu'il me demanda un jour, devant l'Académie, de transformer un verre d'eau sucrée en verre d'eau-de-vie par une fermentation alcoolique spontanée (3).

Liebig a consacré une bonne partie du Mémoire qu'il a publié

1. *Voir* p. 51-126 du présent volume : Mémoire sur la fermentation alcoolique. (*Note de l'Édition.*)

2. Les levûres alcooliques peuvent s'y former lorsque ces milieux ont déjà donné naissance à d'autres productions organisées qui ont modifié la composition de ces milieux par l'apport de leurs matières albuminoïdes propres à la vie de la levûre. (*Voir* sur ce dernier point mon Mémoire de 1860 *Sur la fermentation alcoolique.*

3. Cette dernière phrase n'est que dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences.* (*Note de l'Édition.*)

en 1870 [1869] à la critique de mes propositions sur la formation de la levûre par les substances minérales et le sucre. Après avoir fait diverses hypothèses sur la formation des substances albuminoïdes dans les plantes, formation qu'il considère comme une des plus grandes énigmes de la nature organique, il discute mes résultats et conclut en ces termes :

« J'ai répété un grand nombre de fois, avec le plus grand soin, l'expérience de M. Pasteur, et j'ai obtenu les mêmes résultats, sauf la formation et l'augmentation de la levûre [1]. »

Il rapporte, en effet, une de ses expériences, et c'est la seule qu'il cite, dans laquelle il a recueilli si peu d'alcool, qu'il a dû recourir non à l'alcoomètre pour le mettre en évidence, cet instrument n'aurait donné aucune indication, mais à des réactions très délicates. C'était nier d'une manière absolue la vérité de mon expérience, car, à la rigueur, la quantité de levûre que j'emploie comme semence, quoique infiniment petite, suffirait à expliquer la formation d'une aussi faible proportion d'alcool. L'assertion de Liebig touchant les quantités infiniment petites d'alcool par lui obtenues pouvait donc se traduire ainsi : *la levûre de bière semée dans un milieu minéral sucré ne se développe pas du tout*, et telle fut sa conclusion, comme on vient de le voir.

L'Académie se rappellera peut-être la réponse que j'ai faite à M. Liebig en 1871 [2]. Je lui offris la nomination d'une Commission prise dans le sein de l'Académie des sciences, devant laquelle je répéterais mon expérience. Si M. Liebig eût accepté, non seulement j'aurais établi l'insuffisance de ses observations, mais j'aurais porté rapidement la conviction dans l'esprit de nos juges, par des dispositions expérimentales nouvelles, empruntées à un progrès de mes recherches, postérieur de quelques années aux expériences dont il s'agit. J'aurais profité des résultats que j'ai publiés sur le facile développement de la levûre au contact de l'air, et j'aurais produit devant les membres de la Commission autant de levûre que M. Liebig aurait pu raisonnablement en demander.

Aujourd'hui, je viens placer sous les yeux de l'Académie une expérience qui réalise d'une façon encore différente de celle que j'indique, et avec plus d'évidence, les résultats auxquels je suis arrivé

1. Liebig. Sur la fermentation et la source de la force musculaire. Lu aux séances de l'Académie royale des sciences de Munich, les 9 mai 1858 et 5 novembre 1869. *Annales de chimie et de physique*, 4e sér., XXIII, 1871, p. 42.

2. *Voir* p. 361-366 du présent volume : Note sur un Mémoire de M. Liebig, relatif aux fermentations. (*Notes de l'Édition.*)

en 1858 (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, XLVII, 1858, p. 1011-1013) [p. 31-32 du présent volume].

Dans mon travail sur la bière (1), j'ai annoncé que j'avais trouvé le moyen de mettre en œuvre les ferments organisés dans un état de pureté irréprochable. Il en résulte que je puis déposer dans un milieu minéral sucré de la levûre tout à fait pure, sans mélange des moindres germes d'organismes étrangers à sa nature. Je puis, d'autre part, à l'aide des dispositions que j'ai maintes fois décrites devant l'Académie, manier un liquide à l'abri de l'air commun, sans qu'il puisse recevoir de celui-ci aucun germe capable de se développer ultérieurement. C'est ainsi que la levûre pure, semée dans un liquide également pur, y vit sans être gênée par les infusoires ou par les levûres lactiques, etc.

Voici un vase qui ne contenait à l'origine que de l'eau distillée, du sucre candi très pur, des cendres de levûre et un sel d'ammoniaque, et où j'ai déposé une trace, pour ainsi dire impondérable, de levûre. La fermentation y est active ; la levûre, d'une blancheur et d'une pureté très grandes, s'est développée déjà en poids relativement considérable. Le sucre disparaîtra complètement, sans éprouver d'autres fermentations que la fermentation alcoolique. On peut, par ce moyen, faire fermenter des kilogrammes de sucre et développer toute la levûre correspondante en obligeant celle-ci à emprunter tous ses matériaux nutritifs à un milieu minéral, l'azote de ses matières azotées à l'ammoniaque, son carbone au sucre, c'est-à-dire à la matière fermentescible, son phosphate et son soufre à des phosphates et à des sulfates alcalins ou terreux. C'est bien là, mais, pour ainsi dire, dans toute sa perfection possible, mon expérience d'il y a quinze ans, qui avait été considérée à juste titre comme la meilleure preuve qu'on pût fournir que la fermentation alcoolique est corrélative de la nutrition et de la vie de la levûre et la condamnation des théories alors régnantes de Liebig, de Berzelius et de Mitscherlich.

A l'aide de la disposition qui est sous les yeux de l'Académie, on peut aller plus loin et montrer combien est erronée l'assertion ancienne de Turpin sur la transformation de la levûre en *penicillium glaucum*, assertion reproduite et étayée de nouvelles observations par divers botanistes allemands, et que M. Trécul, dans ces dernières années, a de nouveau soutenue en France (2), quoique je l'aie combattue

1. *Voir* : Études sur la bière; nouveau procédé de fabrication pour la rendre inaltérable. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXVII, 1873, p. 1140-1148. (Tome V des Œuvres de Pasteur.)

2. *Voir* : Discussion avec MM. Fremy et Trécul sur l'origine et la nature des ferments, p. 367-417 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

déjà en 1861 devant la Société philomathique [1]. Voici comment l'expérience peut servir à mettre la vérité en évidence.

Vient-on à vider le liquide fermentant à une époque quelconque de la fermentation, le dépôt de levûre qui reste dans le vase peut y séjourner au contact de l'air, sans que jamais on voie apparaître la moindre formation de *penicillium glaucum*. Le milieu est néanmoins très propre au développement de cette moisissure; car, si l'on fait pénétrer dans le vase quelques spores seulement de *penicillium*, une végétation abondante de la moisissure se montre ultérieurement [2]. Les descriptions de MM. Turpin, Hoffmann et Trécul ont donc porté sur une de ces illusions qu'on rencontre si fréquemment dans les observations au microscope.

Pour l'expérience dont j'offre un spécimen à l'Académie, on peut se servir des diverses levûres alcooliques ; celle qui réussit le mieux et que j'ai le plus souvent employée est la levûre ordinaire de la fermentation du moût de raisin [3].

Une remarque digne d'attention, c'est que la levûre qui a poussé dans un milieu minéral devient plus propre à se multiplier dans un tel milieu ; elle s'y acclimate, en quelque sorte, comme les plantes dans certains sols. Cela est vrai également de la vie de la levûre à l'abri de l'air, en présence du gaz acide carbonique.

Comme liquide minéral, on peut employer du sulfate d'ammoniaque et les cendres de levûre plus ou moins dissoutes à la faveur du bitartrate de potasse ou d'ammoniaque, ou bien le liquide composé par M. Raulin dans ses remarquables recherches sur le développement des mucédinées [4], liquide qui convient au moins aussi bien que les cendres de levûre, sinon mieux.

[A la Société centrale d'agriculture de France, Pasteur ajouta à cette communication les développements suivants :]

J'ai dit que la levûre, après avoir fait fermenter le sucre dans un milieu minéral, peut être conservée ensuite au contact de l'air sans

1. *Voir* p. 139 du présent volume : Sur les prétendus changements de forme et de végétation des cellules de levûre de bière suivant les conditions extérieures de leur développement.

2. Dans le *Bulletin de la Société centrale d'agriculture de France*, cette phrase est remplacée par la suivante : « Tandis que, si l'on y sème du *penicillium*, une végétation abondante de la moisissure se montre ultérieurement, surtout si l'on fait passer dans le ballon un courant d'air pur qui chasse le gaz carbonique et la vapeur d'alcool ». (*Notes de l'Édition.*)

3. Cette levûre est une levûre basse; mais ce n'est pas, comme je l'ai annoncé, la vraie levûre des *brasseries à fermentation basse*.

4. RAULIN (J.). Recherches sur le développement d'une mucédinée dans un milieu artificiel. *In* : Études chimiques sur la végétation. *Paris*, 1870, in-8° (Thèse pour le doctorat ès sciences physiques). [*Note de l'Édition.*]

perdre la faculté de se reproduire et de se multiplier dans un nouveau milieu nutritif sucré. Cette conservation de la faculté de végétation de la levûre a déjà, dans mes expériences, une durée de deux années. Toutes les cellules individuellement la gardent-elles, ou seulement un certain nombre? C'est ce que je ne saurais encore décider.

J'ai voulu savoir ce qui arriverait dans le cas où l'expérience serait effectuée dans un milieu plus ou moins complètement impropre à la nutrition de la levûre. Par exemple, qu'advient-il à la levûre déposée en très petite quantité dans une solution de sucre candi pur? Je suppose que le poids de levûre soit tout à fait insignifiant, si faible qu'il n'en puisse résulter aucune fermentation appréciable. Malgré cet ensemble de circonstances si favorables à l'épuisement et à la mort de la levûre, celle-ci reste vivante et toujours prête à manifester sa faculté végétative et sa multiplication indéfinie en présence de l'air et d'un milieu nutritif sucré; du moins mes expériences sur ce point déjà ont plus d'une année de durée.

Enfin, que se passe-t-il si l'on conserve la levûre à l'état de poussière sèche? Après sept ou huit mois de séjour de la poussière dans une étuve, le rajeunissement possible de la levûre existait encore; au bout d'un an, il avait disparu. Dans un laboratoire où on manie de la levûre, il y a donc nécessairement en suspension, dans les poussières, des cellules de levûre fécondes, c'est une conséquence de ce qui précède, quoique cette fécondité ne soit pas indéfinie. Les cellules-germes de la levûre du raisin offrent des propriétés du même ordre.

Voici une autre particularité remarquable des cellules de levûre épuisées, mais non mortes, dans l'eau sucrée. Quand on les replace dans un milieu nutritif au contact de l'air, au lieu de se borner à grossir et à bourgeonner pour former des cellules-filles semblables aux cellules-mères, elles poussent de longs articles ou tubes rameux qui, eux-mêmes, donnent des tubes plus ou moins longs; en outre, près de leurs articulations naissent des cellules globuleuses ou ovoïdes qui se détachent pour reproduire de la levûre globuleuse; on dirait les formes de germination et de développement de certains *dematium*; mais bientôt ces formes allongées disparaissent, et même, si on ne les saisit pas dans leur première apparition, elles échappent à l'observateur qui n'est frappé que des formes globuleuses et ovoïdes de la levûre ordinaire. Il est digne de remarque que les cellules-germes de la levûre de la surface des grains et de la grappe du raisin débutent dans leur développement sous les formes allongées que je viens d'indiquer.

J'ai déjà annoncé que la levûre pouvait vivre à la manière des moisissures. On observe ce genre de vie dans diverses circonstances; par

exemple, dans la bière, lorsqu'elle est exposée au contact de l'air, lorsque la surface du liquide ne peut pas se recouvrir de *mycoderma vini* ou *cervisiæ*, ce qui existe toutes les fois que dans ce même liquide les germes de ce même mycoderme sont absents. Dans ces conditions, je le répète, certaines des cellules de levûre qui sont toujours en suspension dans la bière, même la plus limpide, viennent vivre à la surface du liquide, contre les parois du vase, où elles absorbent l'oxygène de l'air et dégagent de l'acide carbonique, comme ferait une mucedinée quelconque. Souvent même les cellules peuvent s'étendre à la surface du liquide et le recouvrir à la manière du *mycoderma vini*; mais, à l'inverse de celui-ci, les cellules de la levûre-moisissure, submergées dans un liquide nutritif sucré, reproduisent des cellules de levûre et la fermentation.

Il semblerait que les cellules de levûre, placées dans un liquide nutritif non sucré, par exemple dans l'*eau de levûre*, devraient perdre leur vitalité ou, tout au moins, leur propriété de provoquer ultérieurement la fermentation dans les liquides sucrés. Beaucoup de faits encore mal expliqués auraient été facilement compris si cette hypothèse se fût réalisée. Lorsqu'on expose des liquides sucrés au libre contact de l'air, surtout dans un laboratoire où se font des travaux sur la fermentation alcoolique, on voit naître, dans ces liquides, des productions qui, par leurs formes, leur mode de développement, les dimensions de leurs cellules, rappellent exactement les formes, le mode de développement et les dimensions des cellules de levûre, ou des articles plus ou moins allongés de la *fleur du vin* ou de la *fleur de la bière*. L'origine de ces productions impropres à la fermentation et si habituelles dans les conditions dont je parle se concevrait très bien si les cellules de la levûre, en s'épuisant au contact de l'air, en l'absence de toute matière sucrée fermentescible, conservaient cependant leur faculté de développement, tout en perdant ce je ne sais quoi qui les rend propres aux actes de la fermentation. En réalité, je n'ai rien observé de semblable, et je suis porté à croire que les productions dont il s'agit ne sont que des formes diverses du *mycoderma vini*.

SUR L'EXPÉRIENCE DE GAY-LUSSAC RELATIVE AU DÉPART DE LA FERMENTATION DU MOUT DE RAISIN PAR L'ACTION DE L'OXYGÈNE DE L'AIR [1]

Tout le monde connaît l'expérience célèbre et classique de Gay-Lussac sur la nécessité de la présence de l'oxygène pour commencer la fermentation alcoolique du jus de raisin [2]. Gay-Lussac introduit sous une cloche à mercure un fragment de grappe de raisin qu'il prive de tout l'air pouvant adhérer aux grains et au bois de la grappe, en introduisant sous la cloche du gaz hydrogène à plusieurs reprises; puis il écrase les grains de raisin; la fermentation ne se déclare pas, même après un très long temps. Elle se manifeste, au contraire, dans les jours qui suivent l'introduction d'une petite quantité d'air sous la cloche. De là cette conclusion légitime de Gay-Lussac, que l'oxygène est nécessaire pour commencer la fermentation du jus de raisin.

Citons une autre expérience de l'illustre physicien : On conserve du moût de raisin par la méthode d'Appert. Si l'on vient à transvaser l'une des bouteilles de moût, même longtemps après la préparation de la conserve, le moût, resté intact jusque-là, ne tarde pas à fermenter dans la nouvelle bouteille; c'est que, d'après Gay-Lussac, le moût a touché à l'oxygène de l'air au moment du transvasement.

Nous savons aujourd'hui que l'interprétation donnée par Gay-Lussac aux deux expériences qui viennent d'être rappelées est vraie, mais incomplète. J'ai montré, en effet, qu'on pouvait conserver du moût de raisin, pris dans le grain lui-même, à l'état naturel, au contact de l'air pur, sans qu'il entre jamais en fermentation. C'est qu'il y a deux conditions essentielles, et non une seule, comme le croyait Gay-Lussac, pour le commencement de la fermentation du moût de raisin : il faut, outre la présence de l'oxygène, le germe du ferment qui va se déve-

1. *Bulletin de la Société centrale d'agriculture de France*, séance du 23 décembre 1874, 3e sér., IX, 1873-1874, p. 1047-1049.

2. GAY-LUSSAC, Extrait d'un Mémoire sur la fermentation (*Annales de chimie*, LXXVI, 1810, p. 245-259). (*Note de l'Édition.*)

lopper dans le liquide fermentescible. Dans l'expérience de la cloche, les germes de levûre de raisin sont apportés par la surface des grains et de la grappe. L'oxygène est seulement nécessaire à la première manifestation de la vie dans ces germes, à leur germination. Dans l'expérience du transvasement de la bouteille de moût dans une autre, il faut donc, de toute nécessité, qu'au moment de ce transvasement le moût rencontre un ou plusieurs germes de la levûre de raisin, sans quoi la fermentation ne pourrait pas avoir lieu. Eh bien, d'après l'ensemble des résultats déjà publiés de mes recherches, il est impossible d'admettre qu'en chaque point de l'espace, partout et en tout lieu, le moût de raisin sortant d'une bouteille, conservé par la méthode d'Appert, rencontre un germe de levûre. Dans mon Mémoire sur les générations dites spontanées [1], j'ai prouvé, contrairement à l'opinion généralement admise autrefois, qu'il n'y avait pas continuité, dans l'air atmosphérique, de la cause des altérations et des fermentations des liquides organiques. Pourquoi donc Gay-Lussac assure-t-il que l'expérience du transvasement de la bouteille de moût réussit toujours? C'est que, le plus souvent, le moût, pendant le transvasement, rencontre le germe du ferment dans les poussières à la surface extérieure du goulot de la bouteille et dans les poussières à la surface du verre de la bouteille dans laquelle on le transvase. Lorsqu'on fait une conserve de moût de raisin par la méthode d'Appert, on se trouve naturellement dans un pays vignoble, à l'époque des vendanges. Dans un tel lieu et à un tel moment, tous les objets, tous les vêtements sont plus ou moins couverts de germes de levûre de vin; les mains de ceux qui manient les bouteilles, les poussières qui bientôt tombent sur celles-ci renferment une foule de cellules de cette levûre. J'ai prouvé, d'ailleurs, que la levûre conserve, à l'état de poussière sèche, sa faculté de rajeunissement, même après huit et dix mois de séjour dans une étuve à 20-25°. Quoi de plus naturel, en conséquence, que Gay-Lussac, qui ignorait jusqu'à l'existence de la nature du ferment, et qui ne prenait aucune précaution pour éliminer les poussières dont je parle, ait toujours réussi?

Maintenant que nous sommes plus éclairés sur la véritable interprétation de son expérience, il nous sera facile de faire qu'elle réussisse ou qu'elle ne réussisse pas, à la volonté de l'opérateur. Pour qu'elle ne réussisse pas, essayons d'éloigner le germe de la levûre; à cet effet, avant de transvaser le moût, lavons la bouteille extérieurement, coupons

1. *Voir* p. 210-294 du présent volume : Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées. (*Note de l'Édition.*)

le bouchon au ras de la cordeline, puis passons la surface du bouchon et de la cordeline dans la flamme de la lampe à alcool, retirons le bouchon avec un tire-bouchon préalablement passé dans la flamme, enfin transvasons le moût dans une bouteille qu'on vient de refroidir, sortant de l'eau bouillante, et tout ceci en plein air, au milieu d'un jardin et non dans un laboratoire où, comme dans le mien, et probablement aussi dans celui de Gay-Lussac au moment où il faisait ce genre d'expériences, on se livre à des études suivies sur la fermentation, et où, par conséquent, les poussières à la surface des objets, ou qui flottent dans l'air, peuvent contenir beaucoup de germes de levûre alcoolique. L'expérience démontre que le transvasement du moût, fait dans ces conditions, avec ces simples précautions de propreté et d'éloignement de foyers des germes que l'on a intérêt à éliminer, ne donne pas lieu à la fermentation du moût dans la nouvelle bouteille.

SUR LA FERMENTATION DU MOUT DE RAISIN [1]

J'ai déjà entretenu la Société de l'expérience bien connue de Gay-Lussac sur les grains de raisin écrasés sous une éprouvette pleine de mercure à l'abri de l'air. Ils ne fermentent pas. Ils entrent, au contraire, en fermentation quand on fait arriver de l'air.

J'annonce aujourd'hui à la Société que cette expérience, facile à reproduire sur des raisins frais à l'époque de la vendange, ne l'est plus du tout quelques mois après, par exemple à l'époque de l'année où nous sommes, sur des raisins de la récolte précédente.

Plus tard, je donnerai l'explication du dernier de ces faits et de la différence qu'il présente avec celui que Gay-Lussac avait le premier observé.

Dès aujourd'hui, je dirai que la germination des germes de la levûre et de la plante qui la produit, germes qui sont à la surface des grains et du bois de la grappe, que cette germination, dis-je, offre les différences les plus profondes, suivant qu'on l'étudie aux deux époques dont je viens de faire mention.

1. *Bulletin de la Société centrale d'agriculture de France*, séance du 24 février 1875, XXXV, p. 157-158.

NOUVELLES OBSERVATIONS SUR LA NATURE DE LA FERMENTATION ALCOOLIQUE [RÉPONSE A MM. BREFELD ET TRAUBE] (1)

J'ai proposé, il y a une quinzaine d'années environ (2), une explication physiologique nouvelle de la fermentation, fort différente des théories par lesquelles on avait essayé antérieurement de rendre compte de ce mystérieux phénomène. Toutes mes études subséquentes n'ont fait que me confirmer dans ma manière de voir. L'expression la plus prochaine des faits que j'ai observés peut s'énoncer en ces quelques mots : la fermentation est la conséquence de la vie sans air, de la vie sans gaz oxygène libre. Plus généralement tout être, tout organe, toute cellule qui a la faculté d'accomplir un travail chimique, sans mettre en œuvre du gaz oxygène libre, provoque aussitôt des phénomènes de fermentation. En d'autres termes, la fermentation ne serait autre chose que la conséquence d'un mode de vie, d'un mode de nutrition ou d'assimilation qui différerait du mode de vie et de nutrition de tous les êtres ordinaires, par cette circonstance que les combustions produites par le gaz oxygène libre, et d'où dérivent les manifestations de la vie, sont remplacées par la chaleur de décomposition de substances où l'oxygène est engagé à l'état de combinaison. Ces substances sont les substances dites *fermentescibles*.

Cette théorie de la fermentation me fut suggérée par les résultats de mes recherches sur la fermentation butyrique, et principalement par la circonstance que le ferment butyrique est un vibrion qui a la faculté de se multiplier indéfiniment à l'abri de l'air (3).

Un jour, en répondant à des critiques de M. Liebig, j'offris de préparer, en sa présence, un poids de vibrions aussi considérable qu'on pourrait le désirer, sans autre matière azotée que celle qui serait tirée

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 22 février 1875, LXXX, p. 452-457.

2. *Voir* p. 142-147 du présent volume : Expériences et vues nouvelles sur la nature des fermentations.

3. *Voir* p. 136-138 du présent volume : Animalcules infusoires vivant sans gaz oxygène libre et déterminant des fermentations. (*Notes de l'Édition.*)

d'un sel d'ammoniaque et de produits minéraux cristallisés, sans autre matière carbonée que celle de la matière fermentescible ; enfin j'affirmais que tout ce travail de vie, de prolifération de vibrions, ou de vie poursuivie de vibrions déjà formés, s'accomplirait sans le concours de la moindre quantité de gaz oxygène libre [1]. M. Liebig refusa d'assister à cette saisissante expérience et à d'autres du même ordre, devant une Commission choisie dans le sein de l'Académie, quoique notre Président, qui était alors M. Faye, eût déclaré que l'Académie était prête à faire tous les frais de l'expérience dont je parle. Je suis convaincu que, si cette expérience avait été faite, la discussion à laquelle je vais me livrer n'aurait pas été soulevée.

La théorie nouvelle de la fermentation, dont je viens de rappeler l'expression sommaire, fut accueillie à l'étranger avec une grande faveur ; mais elle a subi, dans ces derniers temps, des objections expérimentales sérieuses de la part d'un naturaliste fort habile, le Dr Oscar Brefeld, qui dirige à Würzbourg un grand laboratoire de physiologie végétale. Les expériences du Dr Brefeld sont délicatement conduites et assez probantes, en apparence, pour qu'elles aient modifié l'état de l'opinion de l'autre côté du Rhin, au sujet de la théorie que j'avais proposée comme explication des phénomènes de fermentations proprement dites. Voici comment s'exprime le Dr Sachs, dans la quatrième édition de son *Traité de physiologie végétale*, ouvrage traduit en français et annoté avec un talent remarquable par M. Van Tieghem :

« Dans l'opinion de M. Pasteur, opinion très répandue depuis ses recherches, mais que je n'avais jamais partagée, la levûre peut vivre dans des liquides qui ne renferment pas d'oxygène libre en dissolution : elle se procure alors l'oxygène nécessaire à sa respiration en détruisant des combinaisons chimiques, et c'est précisément ainsi qu'elle provoque la décomposition du sucre en acide carbonique, alcool et plusieurs autres produits. Mais des recherches récentes, entreprises à l'Institut botanique de Würzbourg par M. Brefeld, prouvent que cette manière de voir est entièrement dépourvue de fondement. Pour s'accroître, les cellules de levûre, comme toutes les cellules végétales, ont besoin d'oxygène libre, gazeux ou dissous dans le liquide [2]. »

L'accroissement de la levûre, en l'absence du gaz oxygène libre, est impossible. Telle est, en effet, la contradiction principale soulevée

1. *Voir* p. 361-366 du présent volume : Note sur un Mémoire de M. Liebig, relatif aux fermentations.

2. SACHS (J.). Lehrbuch der Botanik. (Vierte umgearbeitete Auflage.) *Leipzig*, 1874, in-8°, p. 254. — M. Van Tieghem a traduit la 3e édition allemande de 1873 sous le titre : Traité de botanique. Le passage cité par Pasteur se trouve dans la 4e édition allemande de 1874, augmentée de 150 pages, non traduite par M. Van Tieghem. (*Notes de l'Édition.*)

par M. Brefeld : « Non, conclut cet observateur, il n'existe pas, sur les derniers degrés de l'échelle organique, une classe d'êtres qui, comme le pense M. Pasteur, soient capables de vivre d'oxygène à l'état de combinaison, de se nourrir, de se multiplier dans des conditions d'existence absolument contraires à celles qui sont communes à tout le reste des êtres vivants. »

Le travail de M. Brefeld [1] a paru, au mois de juillet 1873, dans les *Annales de la Société physique et médicale de Würzbourg*. En 1874, M. Moritz Traube [2], professeur à Breslau, entreprit des recherches analogues à celles de M. Brefeld, et également dans le même but, comme il le dit d'une manière expresse, celui de réfuter la théorie que j'ai proposée ; mais, chemin faisant, après avoir répété mes propres expériences sur le développement de la levûre sans gaz oxygène libre, il les trouve exactes et réfute celles de M. Brefeld. Toutefois, il tombe d'accord avec ce dernier pour rejeter mon opinion sur la cause de la fermentation, parce que, d'après ses expériences, si la levûre peut vivre, comme je l'ai affirmé, sans gaz oxygène libre, elle ne donne lieu, dans cette circonstance, qu'à un commencement de fermentation, et si faible même qu'au dire du Dr Traube ce sont les corps albumineux mélangés, et non le sucre, que la levûre, à l'abri de l'air, emploie à son développement : « On ne peut donc pas admettre, poursuit-il, que la décomposition du sucre, à l'abri de l'air, soit une conséquence de la vie sans gaz oxygène libre. »

En résumé, M. Brefeld nie formellement que la levûre puisse vivre sans air, et déclare mes expériences erronées. M. Traube assure, au contraire, qu'elles sont exactes et me défend sur ce point ; mais tous deux repoussent l'idée que la vie de la levûre puisse avoir lieu au moyen du sucre, en l'absence du gaz oxygène libre.

M. Brefeld [3] a répondu à M. Traube, devant la Société chimique de Berlin, en maintenant énergiquement l'exactitude de ses expériences et de ses conclusions. De son côté, M. Traube [4], dans une nouvelle communication, a de nouveau défendu ses recherches sans aucune réserve.

1. Brefeld (O.). Untersuchungen über Alkoholgährung. *Verhandlungen der physik.-medic. Gesellschaft zu Würzburg*, 1873, p. 163-178, et *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, VII, 1874, p. 281-283.

2. Traube (M.). Ueber das Verhalten der Alkoholhefe in sauerstoffgasfreien Medien *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, VII, 1874, p. 872-887.

3. Brefeld (O.). Bemerkungen zu der Mitteilung von M. Traube : Ueber das Verhalten der Alkoholhefe in sauerstoffgasfreien Medien. *Ibid.*, VII, 1874, p. 1067-1069.

4. Traube (M.). Erwiderung auf die Bemerkungen des H. Oscar Brefeld. *Ibid.*, VII, 1874, p. 1756-1759. — Ueber das Verhalten der Alkoholhefe in sauerstoffgasfreien Medien. Nachtrag. *Ibid.*, VIII, 1875, p. 1384-1400. (*Notes de l'Édition.*)

Le moment est venu pour moi de m'expliquer sur mes expériences et sur celles des deux naturalistes allemands.

Comme il s'agit d'une discussion très sérieuse et sérieusement conduite, j'ai dû ne pas me borner à reproduire sans changements mes observations de 1861 et des années suivantes. Je me suis efforcé de les simplifier pour les rendre plus décisives par leur clarté et leur précision. Aussi vais-je pouvoir montrer, dans une seule et même expérience, que M. Brefeld est dans l'erreur, et que l'expérience particulière sur laquelle M. Traube s'appuie pour contredire mon opinion est également tout à fait inexacte. Enfin le même dispositif expérimental me servira à donner le pourquoi des interprétations erronées de mes contradicteurs.

Je prends un ballon de verre de plusieurs litres de capacité, muni de deux tubulures, l'une étirée à la lampe et recourbée, devant servir de tube abducteur pour les gaz dégagés pendant la fermentation ; l'autre droite, à laquelle est soudé un robinet de verre surmonté d'un petit entonnoir cylindrique. Le ballon est rempli d'eau de levûre sucrée qu'on fait bouillir de façon à chasser tout l'air dissous, pendant que le tube abducteur plonge dans la même solution bouillante et dont l'ébullition peut continuer pendant le refroidissement du ballon et du liquide qu'il renferme. Le refroidissement du ballon étant obtenu, on engage l'extrémité du tube abducteur dans une petite cuve pleine de mercure, et l'ensemble est transporté dans une étuve à la température de 20 ou 25°. Des expériences directes, faites avec le carmin d'indigo décoloré par le précieux réactif de M. Schutzenberger, l'hydrosulfite de soude, ont établi que, dans ces circonstances, il ne reste pas trace de gaz oxygène dans le liquide sucré. Il s'agit alors de mettre en levain le liquide fermentescible sans exposer ce dernier au contact de l'air. A cet effet, on provoque dans le petit entonnoir la fermentation d'un peu de moût de bière ou d'eau de levûre sucrée, avec tous les soins nécessaires pour que cette fermentation soit pure, c'est-à-dire pour que la levûre ne renferme pas du tout de germes de ferments étrangers. Lorsque la fermentation des 3 ou 4 centimètres cubes du liquide sucré est bien en train, on tourne la clef du robinet et on laisse écouler quelques gouttes du moût en fermentation dans le liquide du ballon, puis on referme aussitôt le robinet, qui reste surmonté d'une bonne partie du liquide fermentant. Dans ces conditions, la levûre qui n'a été ajoutée au liquide fermentescible, absolument privé d'air, qu'en quantité infiniment petite et impondérable, se développe, en conformité de mes expériences antérieures et en contradiction de celles de M. Brefeld. Le poids qu'on en obtient, la quantité

de sucre décomposé ne dépendent que du volume du liquide fermentescible. J'ai pu réaliser des expériences de cette nature, par d'autres dispositions expérimentales, sur plusieurs hectolitres de moût de bière. Comme je l'ai annoncé déjà dans le *Bulletin de la Société chimique*, séance du 12 avril 1861 [1], la fermentation a plus de durée que les fermentations qui ont lieu au contact de l'air, mais elle s'achève complètement, contrairement à l'assertion de M. Traube, qui prétend que la fermentation à l'abri de l'air ne fait que commencer pour s'arrêter bientôt.

Toutes les expériences qui me sont opposées par MM. Brefeld et Traube sont donc entièrement inexactes.

Mais comment se fait-il que ces deux physiologistes, qui ont montré dans leurs recherches longues et pénibles un vrai talent expérimental, et qui, je puis le dire, se sont acharnés à voir juste, se soient trompés à ce point? La même expérience que je viens de décrire va nous en fournir des raisons plausibles. J'avais eu soin de faire remarquer, dans mes expériences de 1861, que, pour mettre en levain les liquides fermentescibles privés d'air, il fallait faire usage de levûre jeune : en effet, que, dans notre petit entonnoir qui surmonte le robinet du ballon, on laisse la fermentation s'achever avant de mettre en levain la masse du liquide fermentescible du ballon, et l'on verra que la levûre semée aura une peine extrême à se multiplier dans le liquide privé d'air : voilà la circonstance qui a induit M. Brefeld en erreur; il doit avoir toujours opéré sur une levûre trop vieille pour ce genre d'études.

Et M. Traube, pourquoi n'a-t-il observé, à l'abri de l'air, que des commencements de fermentation, et non des fermentations complètes? C'est que, vraisemblablement, il n'avait pas à sa disposition de la levûre pure, levûre qui n'est connue que depuis mes recherches de ces dernières années. Or on constate que, quand la levûre, semée dans des milieux sucrés privés d'air, n'est pas absolument pure, au bout de très peu de temps elle se trouve associée à des ferments étrangers qui compliquent les phénomènes, font vieillir la levûre alcoolique et suspendent son développement.

Je ne veux pas insister davantage, je ne veux pas m'arrêter à montrer, en conformité parfaite avec la théorie que j'ai proposée, que la plus grande puissance du ferment (je ne dis pas sa plus grande rapidité d'action, ce qui est tout autre chose) a lieu quand le ferment agit à l'abri de l'air; qu'au contraire le minimum de sa puissance se manifeste quand il utilise, pour sa vie, le plus possible de gaz oxygène

1. *Voir* Sur les ferments. *Bulletin de la Société chimique de Paris*, séance du 12 avril 1861, p. 61-63, et p. 140-141 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

libre. Ce point capital n'a pas été abordé par mes contradicteurs : il n'est donc pas en cause, et je me borne à répéter, en terminant, ce que je disais déjà en 1860 :

L'acte chimique de la fermentation est essentiellement un phénomène corrélatif d'un acte vital, commençant et s'arrêtant avec ce dernier ; il n'y a jamais fermentation alcoolique proprement dite sans qu'il y ait simultanément organisation, développement, multiplication de globules, ou vie poursuivie, continuée de globules déjà formés (1).

J'ajoute aujourd'hui, comme en 1861 : la fermentation est la conséquence de la vie sans gaz oxygène libre. Oui, il existe deux sortes d'êtres : les uns, que j'appelle *aérobies*, qui ont besoin d'air pour vivre ; les autres, que j'appelle *anaérobies*, qui peuvent s'en passer. Ceux-ci sont les ferments. Quoique pouvant vivre sans air quand on leur en refuse absolument, ils peuvent mettre en œuvre, pour les besoins de leur nutrition, des quantités variables d'oxygène libre quand ils en ont à leur disposition, et ils sont ferments plus ou moins puissants dans la proportion inverse des volumes de gaz oxygène libre qu'ils peuvent assimiler. Quand leur vie s'accomplit uniquement à l'aide du gaz oxygène libre, ils tombent dans la classe des êtres *aérobies*, c'est-à-dire qu'ils ne sont plus ferments ; inversement, et je l'ai déjà annoncé en termes formels à l'Académie (séance du 7 octobre 1872 (2)), quand les êtres *aérobies*, notamment toutes les moisissures, sont placés dans des conditions de vie où il y a insuffisance de gaz oxygène libre, ils deviennent ferments, et précisément dans la mesure du travail chimique qu'ils accomplissent sans gaz oxygène libre.

La théorie de la fermentation est fondée, j'en ai la pleine confiance. Elle sera établie mathématiquement le jour où la science sera assez avancée pour mettre en rapport la quantité de chaleur que la vie de la levûre, en l'absence de l'air, enlève pendant la décomposition du sucre, avec la quantité de chaleur fournie par les combustions dues au gaz oxygène libre lorsque la vie de la levûre s'effectue dans des conditions où ce gaz est fourni en plus ou moins grande abondance (3).

1. *Voir* p. 125 du présent volume.

2. *Voir* p. 387-394 du présent volume : Faits nouveaux pour servir à la connaissance de la théorie des fermentations proprement dites.

3. *Voir* : Note sur la fermentation à propos des critiques soulevées par les Drs Brefeld et Traube. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXII, 1876, p. 1078-1079, et p. 443-444 du présent volume.

Dans cette Note, Pasteur annonce à l'Académie que le Dr Brefeld reconnaît son erreur et celle du Dr Traube. (*Notes de l'Édition.*)

DISCUSSION A L'ACADÉMIE DE MÉDECINE SUR LA FERMENTATION ET LES GÉNÉRATIONS DITES SPONTANÉES

A l'Académie de médecine s'engagea, en février 1875, une longue discussion sur la fermentation et les générations dites spontanées, à l'occasion d'une Note de M. Albert Bergeron « sur la présence et la formation des vibrions dans le pus des abcès ». On trouvera cette discussion dans le tome VI des Œuvres de Pasteur : « Maladies virulentes. » (*Note de l'Édition.*)

SUR LA PUTRÉFACTION DES ŒUFS [1]
[A PROPOS D'UN MÉMOIRE DE M. GAYON [2]]

M. Pasteur présente à la Société un Mémoire de M. Gayon sur la putréfaction des œufs. Il s'exprime en ces termes :

Le Mémoire de M. Gayon renferme plus de 100 pages in-4°. Il a une grande importance à divers titres, et particulièrement en raison des conclusions auxquelles était arrivé, il y a quelques années, un observateur bien connu, homme de beaucoup d'esprit, habitué autrefois, par le journalisme, à la critique scientifique, M. Donné. M. Donné [3] avait eu l'heureuse idée de faire des résultats des recherches sur la putréfaction des œufs le criterium de la vérité dans la question des générations dites spontanées. Lui-même se mit à l'œuvre et arriva aux conclusions suivantes :

1° « Les œufs brouillés par l'agitation se putréfient tous;

2° « La matière décomposée n'offre pas la moindre trace d'êtres organisés du règne végétal ou du règne animal, pas la plus petite moisissure, pas un seul vibrion; rien enfin d'organisé, d'animé ni de vivant, ne se montre au sein de la matière examinée avec le plus grand soin au microscope. »

Les observations de M. Donné étaient, sur quelques points, en contradiction avec celles de Réaumur et d'autres savants; en outre, elles constituaient une exception à la loi de corrélation qui résulte de mes travaux sur les fermentations touchant la cause de la putréfaction. J'ai montré, en effet, que la décomposition de la matière organisée animale est un acte corrélatif du développement et de la multiplication d'êtres microscopiques de la famille des vibrioniens. Les résultats de

1. *Bulletin de la Société centrale d'agriculture de France*, XXXV, 17 mars 1875, p. 212-215.

2. Gayon (U.). Recherches sur les altérations spontanées des œufs. (Thèse pour le doctorat ès sciences physiques.) *Paris*, 1875, 102 p. in-4° et pl.

3. Donné (A.). Expériences sur l'altération spontanée des œufs. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LVII, 1863, p. 448-452. *Voir* pour les autres travaux de M. Donné sur la même question : *Ibid.*, LVIII, 1864, p. 950-952; LXIII, 1866, p. 301 et 1072; LXIV, 1867, p. 87; LXV, 1867, p. 602-605; et LXXV, 1872, p. 521-523. (*Notes de l'Édition.*)

M. Donné intéressaient donc un point de doctrine de la plus haute importance ; aussi était-il nécessaire de faire de nouvelles recherches dans le but de les contrôler, et ce sont ces recherches, faites par M. Gayon dans mon laboratoire, qui donnent, ainsi que je l'ai dit plus haut, un grand intérêt scientifique à son Mémoire.

Les recherches de M. Gayon infirment les observations de M. Donné et confirment la corrélation que j'ai rappelée tout à l'heure. Il n'est pas exact de dire, comme M. Donné, que tous les œufs, lorsqu'ils sont brouillés, se putréfient : les uns s'altèrent, mais d'autres restent intacts, quoiqu'ils ne soient pas, sans doute, aussi frais qu'au moment où ils viennent d'être pondus. En outre, si l'on examine au microscope un œuf pourri, on y voit constamment des organismes, de préférence des bactéries, à la surface des membranes, tout près de l'air extérieur, et des vibrions loin de l'oxygène, au centre. L'ensemble des observations faites par l'auteur du Mémoire que j'ai l'honneur de présenter a la Société conduit a cette conclusion importante, que la putréfaction dans les œufs, en présence ou en l'absence de l'air, est toujours corrélative du développement et de la multiplication d'êtres microscopiques de la famille des vibrioniens.

M. Gayon a recherché d'où peuvent venir ces organismes qui provoquent la putréfaction, et il a établi, de la manière la plus probable, que ces êtres ou leurs germes ont été recueillis par l'œuf pendant sa formation et son mouvement dans l'oviducte. M. Gayon a ouvert plusieurs poules pour rechercher si des organismes venus de l'extérieur pouvaient remonter le canal vecteur et jusqu'à quelle profondeur ils pouvaient pénétrer. Il a pu constater que, dans les poules qui pondent, les organismes qui vivent à la surface du cloaque peuvent remonter a des hauteurs variables dans l'oviducte, jusqu'à 10 et 15 centimètres du cloaque. Il en résulte que l'œuf, pendant la formation de ses divers éléments, peut recueillir ou non, suivant les circonstances, des organismes ou leurs germes, et porter en soi, par conséquent, après la ponte, la cause d'altérations ultérieures. On ne saurait comprendre autrement la présence, dans les œufs, de certains objets ou organismes que l'on y trouve accidentellement. Ainsi, d'après Burdach, on aurait trouvé des vers dans les intestins d'embryons, et des entozoaires auraient été vus par Eschholz dans des œufs de poule. M. Davaine a montré un ver trouvé dans un œuf par M. Chatin. M. Reiset a communiqué le fait d'une patte de hanneton qu'il a trouvée enveloppée de blanc dans un œuf cuit mou (1). M. Gayon a, d'ailleurs, fait une autre

1. *Voir*, au sujet de ces faits, p. 91 de la Thèse de Gayon. (*Note de l'Édition*.)

expérience qui a le caractère et la force d'une démonstration, pour établir que les organismes qui se développent dans les œufs gâtés ont pour origine les germes recueillis sur l'oviducte, pendant la sécrétion du blanc ou des enveloppes. A l'aide d'une petite seringue, il a fait une série d'injections d'un liquide contenant environ cinq cents bactéries mobiles et immobiles par champ, dans l'oviducte d'une poule qu'il avait séparée du coq, afin que l'expérience ne fût point troublée par le rapprochement de ce dernier. L'influence de l'injection a été manifeste, car il y a eu beaucoup plus d'œufs pourris après ces injections qu'il n'y en avait eu avant.

Tels sont les faits principaux qui résultent du travail de M. Gayon et sur lesquels j'ai cru devoir appeler l'attention de la Société centrale d'agriculture (1).

1. *Voir*, à propos de ce Mémoire de M. Gayon, tome VI des Œuvres de Pasteur : Discussion sur la fermentation. (*Bulletin de l'Académie de médecine*, 2e sér., IV, 1875, p. 265-290.) — *Voir* aussi, à la fin du présent volume, Document VIII : Rapport fait par M. Pasteur sur l'ensemble des travaux de M. Gayon. (*Note de l'Édition.*)

SUR LA FERMENTATION [1]

A M. Dumas, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

Il y a dix-sept ans environ, je vous priais d'annoncer à l'Académie que, si l'on dépose quelques cellules de levûre dans une solution de sucre mêlée à un sel d'ammoniaque et aux matières minérales de la levûre, la petite plante semée se multiplie, et le sucre fermente [2]. Ce fait jeta une grande lumière sur la nature de la levûre et sur la fermentation. La levûre apparaissait comme douée d'une puissance d'organisation qu'on était loin de soupçonner, et la fermentation se montrait liée à la vie du ferment. La matière fermentescible, de son côté, s'offrait comme un des aliments du ferment, l'aliment auquel ce dernier emprunte, pour le moins, tout le carbone qui entre dans sa constitution.

La cause du mystère de la fermentation n'en restait pas moins cachée. En effet, si l'on vient à remplacer, dans l'expérience dont il s'agit, les cellules de la levûre par les spores d'une moisissure, du *penicillium glaucum* par exemple, on observe exactement les mêmes phénomènes de nutrition, sans toutefois que la fermentation du sucre se manifeste.

Pourquoi, dans un cas, la vie d'une des plantes est-elle associée à la décomposition du sucre suivant les lois de la fermentation, et pas du tout dans l'autre? Depuis l'époque que j'ai rappelée tout à l'heure, je ne cesse d'être préoccupé de la solution de ce problème; vous savez que je crois la posséder enfin, cette solution, que j'ai indiquée déjà en 1861 [3]. Tous les faits que j'ai recueillis me portent à envisager aujourd'hui la fermentation comme la conséquence de la vie sans air ou avec insuffisance d'air.

1. *Comptes rendus de l'Association française pour l'avancement des sciences*, 4e session, Nantes, séance du 23 août 1875. *Paris*, 1876, p. 472-474.

2. *Voir* Nouveaux faits concernant l'histoire de la fermentation alcoolique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLVII, 1858, p. 1011-1013, et p. 31-32 du présent volume.

3. *Voir* Expériences et vues nouvelles sur la nature des fermentations. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LII, 1861, p. 1260-1264, et p. 142-147 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

Le caractère ferment n'est plus, suivant moi, une propriété inhérente à certains organismes, mais l'effet d'un mode de vie et de nutrition auquel ceux-ci se trouvent par hasard exposés; et tout être, toute cellule qui, à un moment donné de leur développement, peuvent vivre sans air, doivent devenir ferments pour celui de leurs aliments capable de leur fournir les matériaux oxygénés dont l'être ou la cellule ont besoin, ainsi que la chaleur utile au travail chimique qu'ils élaborent.

Si certains organismes ont mérité d'être distingués, sous le nom de ferments, d'autres organismes extrêmement voisins, c'est uniquement parce que la vie des premiers peut se prolonger dans les conditions de la vie sans air, et qu'il en est résulté des effets considérables, tant par leur grandeur que par leur utilité, effets tout spontanés d'ailleurs, qui ont appelé l'attention sur les agents qui les produisaient.

Parmi les preuves que j'invoque à l'appui de cette théorie nouvelle de la fermentation, une des plus convaincantes assurément est la suivante : plus on offre d'oxygène libre à la levûre pendant qu'elle agit sur le sucre, moins elle en décompose. Le maximum de son effet correspond à son état de vie sans intervention de l'oxygène libre ou dissous; le minimum, à la plus grande action possible de ce gaz. Jusqu'à présent, toutefois, je n'avais pu réussir à faire que la levûre se transformât entièrement en végétal cellulaire aérobie. Quand j'étale une solution sucrée fermentescible en très faible épaisseur au contact de l'air, et que j'y sème de la levûre, je vois bien celle-ci pulluler avec une facilité merveilleuse, et le rapport du poids du sucre décomposé au poids de levûre formée diminuer d'autant plus que l'air a un plus libre accès; mais une portion du sucre subit toujours l'action du ferment, en donnant les produits ordinaires de la fermentation alcoolique. Il y aurait un très grand intérêt théorique à pouvoir supprimer cette dernière partie du phénomène. La levûre se trouverait ainsi dépouillée complètement de son caractère ferment. Elle deviendrait momentanément une moisissure proprement dite, une plante aérobie ordinaire, qu'il suffirait de submerger plus ou moins à l'abri de l'air pour lui rendre aussitôt, par le fait de son nouveau mode de vie, le caractère ferment. Malheureusement, il y a une grande difficulté à entourer, pour ainsi dire, chaque cellule de levûre d'une atmosphère d'oxygène, de façon à ce que ce gaz soit constamment présent pour tous les actes de la vie de cette cellule. On a beau aérer le liquide, l'étaler en couches minces au contact de l'air, très promptement la poussière de cellules qui recouvre le fond du vase donne une épaisseur sensible à l'œil nu, et par conséquent un nombre immense de fois plus considérable que l'épaisseur d'une ou plusieurs cellules superposées. Il en résulte que

le gaz oxygène en dissolution dans le liquide peut bien alimenter les couches superficielles du dépôt des cellules, mais sans rien fournir à celles qui sont plus profondément situées. Dans celles-ci, dès lors, s'exerce la vie sans air et la fermentation : voilà pourquoi, sans nul doute, je n'avais point réussi encore, comme je le disais tout à l'heure, à rendre la levûre complètement aérobie, et à la placer dans les conditions où son caractère ferment serait supprimé d'une manière plus ou moins absolue. Mais si nous remarquons que les effets dont je viens de parler sont étroitement liés à la très facile assimilation du sucre par la levûre au contact de l'air, nous nous dirons que, si on donnait à la levûre pour aliment sucré une matière hydro-carbonée non fermentescible, ou tout au moins de fermentation lente et difficile, les cellules de la levûre pourraient être toujours entourées d'air, grâce à la lenteur de leur développement, et qu'alors la levûre pourrait vivre entièrement à la manière des moisissures sans provoquer la fermentation.

C'est en effet ce qui arrive.

J'ai reconnu qu'on pouvait faire pousser toutes les sortes de levûres alcooliques à la surface des liquides contenant des matières sucrées, en présence de l'air, sans que la levûre devînt ferment. Elle vit comme une moisissure, assimile le sucre et l'oxygène, et dégage de l'acide carbonique, comme fait une plante aérobie inférieure ; mais si l'on vient à la submerger dans un moût sucré facilement fermentescible, aussitôt elle y provoque la fermentation. Je donnerai ailleurs les détails des expériences.

Il serait difficile, ce me semble, de pousser plus loin la démonstration que les ferments sont des organismes ordinaires doués seulement de la propriété de s'accommoder à des conditions de nutrition autres que celles qui sont propres aux plantes ordinaires. J'oserais dire en terminant que la fermentation n'est plus un mystère, ou du moins que ce qu'il y a d'inexplicable dans ce phénomène est remplacé par le mystère de la vie sans air.

Il est opportun de rapprocher des faits et des considérations de cette Note ceux que m'ont offerts le *mycoderma vini* et les moisissures vulgaires, ainsi que les résultats qui ont été obtenus, pour la première fois, par MM. Lechartier et Bellamy sur les fruits [1]. Au sujet de ces derniers résultats, je ferai remarquer que quelquefois les fruits à l'état naturel, entourés d'air, contiennent déjà de très faibles quantités d'alcool, ce qui ne saurait surprendre.

1. Lechartier et Bellamy. Études sur les gaz produits par les fruits. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXIX, 1869, p. 356-360. — De la fermentation des fruits. *Ibid.*, p. 466-469. (*Note de l'Édition.*)

NOTE SUR LA FERMENTATION A PROPOS DES CRITIQUES SOULEVÉES PAR LES D[rs] BREFELD ET TRAUBE [1].

L'Académie n'a peut-être pas oublié que, au mois de février 1875 [2], je l'ai entretenue d'une discussion vive, acerbe même et prolongée, qui s'était produite devant la Société chimique de Berlin, au sujet de mes travaux sur les fermentations. Cette discussion eut lieu entre deux physiologistes éminents, le D[r] Traube et le D[r] O. Brefeld. Tous deux combattaient la rigueur de mes expériences, quoique par des motifs différents; car ils n'étaient pas d'accord entre eux sur l'interprétation des faits, particulièrement sur le point de savoir si la vie, comme je le soutiens, peut s'accomplir en dehors de toute participation du gaz oxygène libre, et s'il est vrai que la fermentation accompagne forcément cette manifestation de la vie sans air.

Lorsque la discussion parut épuisée entre les deux savants naturalistes allemands, je communiquai à l'Académie des sciences un dispositif expérimental qui me paraissait ne laisser aucune place au doute sur la vérité de mes assertions. Je m'efforçai, en outre, de mettre le doigt sur certaines omissions graves dans les expériences de MM. Brefeld et Traube, d'où provenait, suivant moi, l'erreur de leurs conclusions respectives.

Je suis heureux d'annoncer à l'Académie que je viens de recevoir de M. Brefeld une brochure dans laquelle, après avoir exposé de nouvelles recherches expérimentales, très soignées, auxquelles il s'est livré depuis ma réponse, il déclare, avec une franchise aussi digne d'éloges qu'elle est rare, que le D[r] Traube et lui étaient, en effet, tous deux dans l'erreur. Voici, en ce qui concerne cet important

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 8 mai 1876, LXXXII, p. 1078-1079.

2. *Voir* Nouvelles observations sur la nature de la fermentation alcoolique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXX, 1875, p. 452-457, et p. 430-435 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

débat, la principale conclusion de la brochure toute récente du Dr Brefeld :

« Ces résultats, dit-il (résultats obtenus avec le *mucor racemosus*), je les ai confirmés par d'autres sur la levûre de bière. Ils concluent en faveur de Pasteur. Il y a développement, comme il le prétend, dans un milieu privé d'oxygène, et c'est le sucre qui intervient et non la matière albuminoïde, comme le voulait Traube).

« Mes expériences antérieures, faites avec toute la rigueur possible, m'avaient conduit à regarder les assertions de Pasteur comme erronées ; mais je m'empresse aujourd'hui de les reconnaître vraies et de proclamer le service qu'il a rendu en étant le premier qui ait éclairé la marche du phénomène de la fermentation. Par les expériences que je viens d'exposer, j'en suis maintenant persuadé [1]. »

S'efforcer de se convaincre soi-même de la vérité qu'on a entrevue est le premier pas vers le progrès ; persuader les autres est le second. Il y en a un troisième, peut-être moins utile, mais fort enviable néanmoins, qui est de convaincre ses adversaires. Aussi ai-je éprouvé une vive satisfaction à la nouvelle que j'avais ramené à ma manière de voir un observateur d'une rare habileté, dans un sujet qui intéresse au plus haut point la physiologie cellulaire.

1. Brefeld (O.). Ueber Gährung. *Landwirthschaftliche Jahrbücher*, V, 1876, p. 296. (*Note de l'Édition.*)

DE L'ORIGINE DES FERMENTS ORGANISÉS [1]

Dans le courant de cette année, il a paru deux brochures ayant pour objet la génération des organismes inférieurs.

La première est de M. Fremy. Notre savant confrère paraît s'être proposé seulement de résumer sous une forme nouvelle la part qu'il a prise à la discussion qui eut lieu sur l'origine des ferments en 1871-1872, devant cette Académie.

M. Fremy, au cours de la discussion, avait annoncé un long Mémoire rempli de faits. J'ai été personnellement très déçu à la lecture du Traité de M. Fremy [2]. Outre que dans l'ouvrage dont il s'agit, mes expériences et les conséquences que j'en ai déduites sont présentées le plus souvent d'une manière qu'il ne m'est pas permis d'accepter, M. Fremy se borne à déduire *a priori* de son hypothèse favorite une suite d'opinions appuyées sur des ébauches d'expériences dont, à mon avis, aucune n'est amenée à l'état de démonstration. Et pourtant, quoi de plus clair que l'objet du débat ? Je soutiens, par des expériences qui n'ont pas été contestées, que les ferments organisés vivants proviennent d'êtres également vivants et que les germes de ces ferments sont en suspension dans l'air ou à la surface extérieure des objets. M. Fremy prétend que ces ferments se forment par la force de l'hémiorganisme s'exerçant sur les matières albuminoïdes au contact de l'air.

Précisons par deux exemples :

Le vin est fait par une levûre, c'est-à-dire par de petites cellules végétales qui se multiplient par bourgeonnement. Suivant moi, les germes de ces cellules pullulent à l'automne à la surface des grains

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 5 juin 1876, LXXXII, p. 1285-1288. — Cette Note est extraite d'un ouvrage qui paraîtra à la librairie Gauthier-Villars, le 17 du mois courant, ayant pour titre : *Études sur la bière ; ses maladies ; causes qui les provoquent. Procédé pour la rendre inaltérable. Avec une théorie nouvelle de la fermentation.* (*Note de Pasteur.*)

Le texte de cette Note se trouve, avec quelques variantes, dans l'Appendice de l'ouvrage qui sera reproduit dans le tome V des Œuvres de Pasteur : « Études sur la bière. » (*Note de l'Édition.*)

2. FREMY. Sur la génération des ferments. *Paris*, 1875, 218 p. in-8°. (*Note de l'Édition.*)

de raisin et du bois de leurs grappes. Les preuves que j'en donne ont la clarté de l'évidence. Suivant M. Fremy, les cellules de levûre naissent, par génération spontanée, c'est-à-dire par la transformation des matières azotées contenues dans le suc du raisin dès qu'on expose ce suc au contact de l'air.

Du sang coule d'une veine, il se putréfie et se remplit promptement de bactéries ou de vibrions. Suivant moi, les germes de ces bactéries et de ces vibrions ont été apportés par les poussières en suspension dans l'air ou répandues à la surface des objets : poussières sur le corps de l'animal sacrifié, poussières sur les vases employés, etc. M. Fremy prétend, au contraire, que ces bactéries ou ces vibrions sont nés spontanément, parce que l'albumine, la fibrine du sang, ont en elles-mêmes une demi-organisation qui fait que, au contact de l'air, elles se transforment spontanément en ces petits êtres si agiles.

M. Fremy prouve-t-il son opinion? En aucune manière ; il se borne à affirmer que les choses sont ce qu'il dit qu'elles sont. Sans cesse, il parle de l'hémiorganisme et de ses effets ; nulle part on ne trouve une preuve expérimentale à l'appui de son affirmation. Il y a cependant un moyen bien simple de prouver l'hémiorganisme, et sur lequel, M. Fremy et moi, nous sommes tout à fait d'accord. Ce moyen consiste à retirer des portions de jus de raisin, de sang ou d'urine, etc., de l'intérieur même des organes qui renferment ces liquides, en évitant seulement le contact des poussières de l'air ou de celles des objets. Dans l'hypothèse de M. Fremy, ces liquides doivent nécessairement fermenter en présence de l'air pur. Pour moi, c'est l'inverse qui doit avoir lieu. Voilà bien l'expérience décisive et cruciale entre les deux théories. M. Fremy ne conteste pas qu'il y a là, entre nos opinions, un *criterium* de la vérité. Or j'ai publié, le premier, des expériences instituées d'après cette méthode si probante, en 1863 et en 1872 [1]. Le résultat a été celui-ci : dans les vases pleins d'air, mais d'air privé de ses poussières, le suc de raisin n'a pas fermenté, c'est-à-dire n'a pas donné les levûres du vin; le sang ne s'est pas putréfié, c'est-à-dire qu'il n'a donné ni bactéries ni vibrions; l'urine n'est pas devenue ammoniacale, c'est-à-dire qu'elle n'a fourni aucun organisme. Nulle part, en un mot, la naissance de la vie ne s'est manifestée.

1. *Voir* Examen du rôle attribué au gaz oxygène atmosphérique dans la destruction des matières animales et végétales après la mort. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LVI, 1863, p. 734-740, et p. 165-171 du présent volume. — Nouvelles expériences pour démontrer que le germe de la levûre qui fait le vin provient de l'extérieur des grains de raisin. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXV, 1872, p. 781-782, et p. 385-386 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

En présence d'arguments aussi irrésistibles, M. Fremy répète que ces résultats, qu'il déclare être accablants pour sa théorie, s'expliquent cependant par cette circonstance que l'air de mes vases, pur au début, se modifie tout de suite chimiquement au contact du sang, de l'urine, du jus de raisin, que l'oxygène est changé en acide carbonique, et que, dès lors, l'hémiorganisme ne peut plus exercer sa puissance. Je suis fort surpris de cette affirmation, car M. Fremy ne peut ignorer que, dès 1863, j'ai donné des analyses de l'air de mes vases après que ceux-ci furent restés stériles pendant plusieurs jours, pendant dix, vingt, trente et quarante jours, aux plus hautes températures de l'atmosphère, en présence de l'oxygène, souvent même dans des proportions presque identiques à celles où on le trouve dans l'air atmosphérique (1). Pourquoi M. Fremy n'a-t-il pas cité ces analyses? C'était le point capital, essentiel. D'ailleurs, si M. Fremy veut contrôler la vérité de son explication, il a un moyen simple de rétablir la pureté de l'air dans les vases au contact des liquides, c'est de faire passer un courant lent et continu d'air pur, jour et nuit, dans ces vases. Or cela je l'ai fait cent fois et j'ai reconnu que la stérilité des liquides putrescibles ou fermentescibles reste entière.

L'hémiorganisme est donc une hypothèse absolument insoutenable.

Je serais heureux que la rigueur de mes études, sur le point dont il s'agit, pût trouver grâce devant M. Fremy et qu'il leur accordât la faveur qui ne leur manque pas à l'étranger. De l'autre côté du Rhin, y a-t-il aujourd'hui une seule personne qui soutienne les opinions de Liebig dont l'hémiorganisme de M. Fremy n'est qu'une variante?

La seconde publication dont j'ai à entretenir l'Académie est du célèbre physicien anglais, M. John Tyndall. Elle a été lue à la Société Royale de Londres, dans la séance du 13 janvier de cette année (2).

L'extrait suivant d'une lettre que M. Tyndall m'a fait l'honneur de m'écrire, à la date du 16 février dernier, fait connaître à quelle occasion ont été entreprises les recherches de l'illustre successeur de Faraday à l'Institution royale :

« Pendant ces dernières années, un certain nombre d'ouvrages portant les titres de : *Les commencements de la vie; l'évolution* ou *l'origine de la vie*, etc., ont été publiés en Angleterre par un jeune

(1) *Voir* p. 165-171 du présent volume : Examen du rôle attribué au gaz oxygène atmosphérique dans la destruction des matières animales et végétales après la mort.

(2) Tyndall. The optical deportment of the atmosphere in relation to the phenomena of putrefaction and infection. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1876, CLXVI. Part 1, p. 27-74 [fig.]. (*Notes de l'Édition.*)

médecin, le Dr Bastian. Le même auteur a aussi publié un nombre considérable d'articles dans diverses revues et journaux. La manière très circonstanciée avec laquelle il décrit ses expériences et le ton d'assurance avec lequel il avance ses conclusions ont produit une impression immense sur le public anglais comme sur le public américain. Ce qu'il y a de plus grave, au point de vue pratique, c'est l'influence que ces écrits ont exercée sur le monde médical. Il a attaqué vos travaux avec une grande vivacité, et, bien qu'il n'ait produit qu'une légère impression sur ceux qui les connaissent à fond, il en a produit une très grande, et j'ajouterai très fâcheuse, sur les autres.

« La confusion et l'incertitude ont fini par devenir telles, qu'il y a six mois j'ai pensé que ce serait rendre service à la Science, en même temps que justice à vous-même, que de soumettre la question à une nouvelle investigation. Mettant à exécution une idée que j'avais eue il y a six ans, et dont les détails sont indiqués dans l'article du *British medical Journal*, que j'ai eu le plaisir de vous envoyer, j'ai parcouru une grande partie du terrain sur lequel s'était établi le Dr Bastian, et réfuté, je crois, beaucoup des erreurs qui avaient égaré le public.

« Le changement qui s'est opéré dès lors dans le ton des journaux de médecine de l'Angleterre est tout à fait digne de remarque, et j'incline à penser que la confiance générale du public dans l'exactitude des expériences du Dr Bastian a été considérablement ébranlée.....

« Je suis dans l'intention de poursuivre ces recherches jusqu'à ce que j'aie dissipé tous les doutes qui ont pu s'élever au sujet de l'inattaquable exactitude de vos conclusions... »

Je n'ai pas besoin de dire la vive satisfaction que j'ai éprouvée à la lecture de cette lettre, en apprenant que mes études venaient de recevoir l'appui des investigations d'un savant, renommé par sa rigueur expérimentale autant que par la brillante et pittoresque clarté de tous ses écrits. La récompense, comme l'ambition du savant, est de conquérir l'approbation de ses pairs ou celle des maîtres qu'il vénère.

M. Tyndall a observé ce fait remarquable que, dans une caisse dont les parois sont enduites de glycérine, et dont les dimensions variables pourraient être très grandes, toutes les poussières en suspension dans l'air de la caisse tombent et viennent se fixer sur la glycérine, dans un intervalle de quelques jours. L'air de la caisse se trouve alors aussi pur que celui de nos ballons à deux tubulures. En outre, un faisceau de lumière peut indiquer le moment où cette pureté est obtenue. M. Tyndall a prouvé, en effet, que le faisceau est visible, pour un œil rendu sensible par un court séjour dans l'obscurité, tant qu'il existe

des poussières flottantes propres à réfléchir ou à diffuser la lumière et qu'il devient, au contraire, tout à fait obscur et invisible quand l'air a laissé tomber entièrement ses particules solides. A ce terme, qui arrive promptement (en deux ou trois jours, pour une des caisses dont s'est servi M. Tyndall), on constate que des infusions organiques quelconques se conservent dans les caisses sans éprouver la moindre altération putride, sans donner naissance à des bactéries. Celles-ci pullulent, au contraire, dans de semblables infusions après un intervalle de deux à quatre jours, si les vases qui les contiennent sont exposés à l'air qui entoure les caisses.

NOTE AU SUJET D'UNE COMMUNICATION DE M. SACC, INTITULÉE : « DE LA PANIFICATION AUX ÉTATS-UNIS ET DES PROPRIÉTÉS DU HOUBLON COMME FERMENT »[1]

M. Sacc a communiqué à l'Académie, dans sa séance du 6 décembre 1875, une Note concernant la panification aux États-Unis [2]. Des pratiques qu'il décrit et au nombre desquelles se trouve celle de l'emploi d'une décoction de houblon, l'auteur déduit plusieurs conséquences. La plus importante est relative à la prétendue existence d'un ferment alcoolique soluble dans les cônes du houblon :

« La panification par le houblon, dit M. Sacc, diffère donc de la panification au levain en ce que la fermentation de la farine est instantanée, ce qui dispense de la préparation longue, coûteuse et incertaine du levain : c'est une pratique qui me semble devoir être introduite sur une large échelle en Europe.

« Maintenant, comment agit la solution de houblon sur la farine ? Absolument comme la levûre, mais avec une telle force que son action est instantanée. Il y a donc dans les cônes de houblon un ferment alcoolique bien plus énergique que celui qui existe dans la levûre de bière. Ce ferment est soluble dans l'eau, et, particularité unique dans l'histoire des ferments, il résiste à l'action de l'eau bouillante. »

Voulant savoir à quoi m'en tenir sur ces révélations inattendues au sujet des propriétés de la décoction du houblon, je les ai soumises à une vérification expérimentale, avec l'aide de M. Chamberland, agrégé-préparateur à l'École Normale supérieure, et de M. le Directeur de la boulangerie Scipion.

On a fait de la pâte avec deux portions égales de farine, du poids de 2 kg. 500 chacune ; mais l'une a été pétrie avec de l'eau tiède ordinaire, l'autre avec une décoction de houblon préparée comme l'indique M. Sacc. Ces deux pâtes ont été placées dans de larges bocaux cylin-

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 10 juillet 1876, LXXXIII, p. 107-109.
2. *Ibid.*, LXXXI, 1875, p. 1130-1131. (*Note de l'Édition.*)

driques, en verre, à la température de 25°. Douze heures après, la pâte sans houblon avait levé de $\frac{1}{2}$ centimètre environ en hauteur, celle avec houblon n'avait pas changé de volume ; ce n'est que dix heures après qu'elle a commencé à lever.

Des organismes microscopiques ont apparu en même temps que le soulèvement de la pâte dans les deux cas. Ils sont devenus de plus en plus nombreux au fur et à mesure que les pâtes levaient. Les deux pâtes sont arrivées au même volume maximum au bout de trente-six heures. On a noté que les organismes de la pâte à houblon ont été un peu moins variés que ceux de la pâte ordinaire.

Les pâtes, après s'être affaissées dans les deux bocaux, ont commencé à lever de nouveau. Le microscope a montré alors les globules de levûre de bière ordinaire.

On a recommencé des expériences comparatives à des températures moins élevées, de 16 à 20°. Les pâtes ont toujours levé à peu près en même temps dans ces nouveaux essais et ont toujours atteint sensiblement le même volume maximum. La levûre de bière ne s'est présentée qu'accidentellement ; généralement, il ne se développe que de petits organismes filiformes articulés, mobiles ou immobiles, de 1 à 2 millièmes de millimètre de diamètre.

Le levain de la boulangerie Scipion, qui est un levain sans levûre de bière, montre des organismes analogues, quoique de structure un peu plus uniforme que ceux qui apparaissaient spontanément dans nos pâtes et sans mouvements.

Des pains ont été faits avec les pâtes préparées comme il vient d'être dit, cuites en temps voulu. Ils étaient assez mal levés, mais différaient très peu les uns des autres. Les pains au houblon avaient seulement un peu plus d'amertume et étaient préférés pour ce motif par quelques personnes ; d'autres donnaient au contraire la préférence au pain sans houblon.

Nous avons fait de nouveaux pains en nous servant des pâtes des expériences précédentes en guise de levain et toujours en pétrissant, dans un cas avec de l'eau tiède ordinaire, dans l'autre cas avec la décoction de houblon. Tout s'est passé comme dans les expériences précédentes, avec cette différence que les pâtes levaient beaucoup plus vite, ce qui se comprend aisément, puisque les organismes agissant comme levain étaient, dès le début, nombreux, adultes et prêts pour la multiplication.

Il a paru probable que, par des répétitions de panification dont la première serait spontanée et les suivantes toujours déterminées par le levain de l'opération précédente, on arriverait facilement à avoir

dans leur nature et leur uniformité les mêmes ferments que dans les levains de pâte des boulangeries qui, comme à Scipion, n'emploient jamais de levûre de bière.

Toutes nos expériences conduisent à ce résultat que, contrairement aux assertions de M. Sacc, le houblon n'a aucune influence pour faire lever la pâte, et qu'on ne peut admettre qu'il renferme un ferment alcoolique soluble. La pâte lève par suite du développement d'organismes microscopiques ; le houblon peut favoriser ou empêcher la production de certains d'entre eux ; il donne surtout au pain un peu d'amertume qui peut plaire à certaines personnes et à laquelle on doit s'habituer facilement. Ce sont là probablement les raisons d'être de l'emploi de cette substance dans la panification aux États-Unis. N'ayant d'autre but que de m'éclairer sur l'assertion de M. Sacc, relative à l'existence d'un ferment alcoolique soluble, je n'ai pas poussé plus loin ces investigations, malgré tout l'intérêt qu'elles peuvent offrir au point de vue économique.

NOTE SUR LA FERMENTATION DES FRUITS ET SUR LA DIFFUSION DES GERMES DES LEVURES ALCOOLIQUES (1)

Dans l'ouvrage que je viens de publier sur la bière et les fermentations (2), j'ai rendu compte d'expériences faciles à reproduire qui prouvent que les germes des levûres alcooliques sont très abondants sur les grappes de raisins mûrs, très abondants aussi dans les laboratoires livrés à des recherches sur la fermentation, rares au contraire dans les poussières de l'air atmosphérique extérieur. J'ai établi également que la surface du bois de la grappe est bien plus riche que celle des grains eux-mêmes; que par la dessiccation, à la température ordinaire, les germes de levûre distribués sur les bois des grappes perdent peu à peu, en quelques mois, leur fécondité; enfin que, tant que le nouveau raisin n'est pas mûr, la levûre se montre tout à fait absente à sa surface. Bien plus, dans leur état de parfaite maturité, les raisins sont souvent dans l'impossibilité de fermenter quand on les écrase par petites parties au contact de l'air. Cette impossibilité, dans ces conditions, de la fermentation d'un fruit dont le jus est si éminemment propre à la fermentation s'observe surtout avec les raisins qui ont poussé dans des serres et qu'on récolte au mois d'avril ou de mars; on peut la constater en toute saison sur des portions de grappes de raisins conservés par la méthode de Thomery.

On connaît l'industrie de Thomery pour conserver les raisins pendant plusieurs mois après la récolte. Chaque grappe est détachée du cep munie du rameau qui la porte, et celui-ci est introduit dans un petit bocal où il y a de l'eau ordinaire avec un morceau de charbon au fond. La grappe pend au dehors du flacon. Grâce à l'emploi du charbon,

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 17 juillet 1876, LXXXIII, p. 173-176.

2. PASTEUR. Etudes sur la bière, ses maladies, causes qui les provoquent, procédé pour la rendre inaltérable, avec une théorie nouvelle de la fermentation. *Paris*, 1876, Gauthier-Villars, VIII-387 p. in-8° (12 pl. et 85 fig.). *Voir* tome V des Œuvres de Pasteur. (*Note de l'Édition.*)

l'eau ne se putréfie pas, de telle sorte que le bois de la grappe, les grains qu'elle porte et le rameau ne peuvent se dessécher. Les grains sont si peu flétris sur leurs grappes qu'on croirait que celles-ci viennent d'être cueillies lorsqu'on les livre en boîte pour la vente dans les mois d'hiver et de printemps. Dans ces conditions de conservation de l'humidité dans le bois de la grappe et dans les grains, la levûre, répandue à leur surface, garde assez sa vitalité pour que la fermentation puisse avoir lieu quand on écrase plusieurs grappes ou fragments de grappes; mais parmi ces derniers il en est toujours qui ne fermentent pas quand on répète plusieurs fois les essais. Pour compléter ces observations, j'ai entrepris, avec l'aide de M. Chamberland, agrégé-préparateur à l'École Normale supérieure, de nouvelles expériences sur les fraises, les cerises, les groseilles. De même que les raisins, ces fruits, avant leur maturité, n'ont pas montré de germes féconds de levûre alcoolique. Ils ne fermentent pas si on les écrase au contact de l'air et surtout ils ne font pas fermenter des jus sucrés dans lesquels on les submerge entiers ou écrasés. Des moisissures apparaissent, plus ou moins variées, mais pas de levûre proprement dite. Des cellules de *dematium* se montrent constamment comme si cette plante devait plus tard être celle d'où sortiront les cellules de levûres alcooliques au moment de la maturité. Comme pour les raisins, ces mêmes fruits mûrs fermentent quand on les réunit en certain nombre. Si l'on opère sur ces mêmes fruits plus ou moins isolés, la fermentation se déclare ou ne se déclare pas, suivant qu'il y a présence ou absence de germes féconds de levûre.

A l'époque de l'année où nous nous trouvons présentement, les germes des levûres alcooliques réapparaissent sur les arbres fruitiers et peut-être sur d'autres plantes. Dans une immense ville comme Paris, le commerce des cerises, des fraises, des groseilles se fait sur une grande échelle. On manipule des fruits de tous côtés; la température est, en outre, élevée et favorable aux fermentations. L'air des rues de Paris doit vraisemblablement contenir en ce moment beaucoup de germes de levûres. Si les fermentations constituaient des maladies, on pourrait dire que, dans Paris, actuellement, il y a des épidémies de fermentations. Voici comment on peut constater facilement la présence des germes de levûres dans l'air que nous respirons à Paris en ce moment : on expose en plein air, sur une terrasse par exemple (terrasse de mon laboratoire, rue d'Ulm), un moût sucré, dans des cuvettes en porcelaine, peu profondes, à fond plat, bien purgées au préalable, par la chaleur, de tous germes d'organismes étrangers. Le moût de raisin conservé convient très bien pour ces expériences. Après

vingt-quatre ou quarante-huit heures, on verse le contenu de chaque cuvette dans un ballon à long col sortant de l'eau bouillante. Ce transvasement est indispensable pour bien constater ensuite la fermentation du moût. Si le moût restait dans les cuvettes où l'eau d'évaporation serait remplacée de temps à autre par de l'eau qui aurait bouilli, la fermentation serait masquée le plus souvent par un développement exagéré de moisissures. En opérant sur douze cuvettes de 200 centimètres carrés de surface environ, et un égal nombre de ballons, par un air un peu agité, on est à peu près sûr d'obtenir la fermentation dans plusieurs ballons, si l'exposition à l'air dure seulement quarante-huit heures, ce qui amasse, il est vrai, une assez grande quantité de poussières au fond de chaque cuvette. Les levûres qui prennent naissance le plus ordinairement sont celles qu'on trouve le plus abondamment à la surface de nos fruits domestiques (*S. past.*, *S. apic.*, *S. ellips.*, et une levûre sphérique très voisine du *S. ellips.*). Le *mycoderma vini* ou *cerevisiæ* et les torulas aérobies ressemblant aux levûres sont également fréquents, ce qui se comprend aisément, car ce ne sont, suivant moi, originairement que des cellules de *dematium*.

En hiver, ces expériences ne donneraient pas du tout les mêmes résultats et réussiraient rarement.

On peut encore recueillir les poussières en suspension dans l'atmosphère à l'aide de bourres de coton ou d'amiante, traversées par un courant d'air produit par l'aspiration d'une trompe à eau, bourres que l'on place ensuite dans des moûts sucrés. Cette disposition laisse à désirer. Par l'emploi des cuvettes, les germes de la levûre se préparent tout de suite, après leur chute, pour la germination, au contact de l'air dissous à saturation dans le moût. Lorsque celui-ci est placé ensuite dans les ballons à long col, ce qui supprime l'accès facile de l'air, les spores des moisissures, gênées dans leur développement, ne sauraient plus s'opposer efficacement à la multiplication des cellules de la levûre, qui, en trois ou quatre jours, est assez développée pour qu'il y ait fermentation sensible. Les bourres de coton, plongées dans le moût, donnent la fermentation, mais plus rarement, toutes choses égales, que si l'on opère avec les cuvettes, comme il vient d'être dit. Autrefois, dans des essais répétés, peut-être il est vrai avec des poussières de l'hiver, je n'avais pas obtenu la fermentation. (Voir mon Mémoire de 1862 *Sur les générations dites spontanées* [1].)

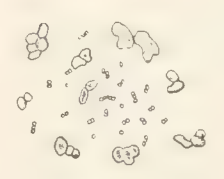
1. *Voir* p. 210-294 du présent volume : Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées. (*Note de l'Édition.*)

NOTE [1]

AU SUJET DE LA COMMUNICATION FAITE PAR M. DURIN SUR LA FERMENTATION CELLULOSIQUE DU SUCRE DE CANNE [2]

M. E. Durin a communiqué, dans la dernière séance, des observations nouvelles et très intéressantes au sujet de ce qu'il appelle la *fermentation cellulosique* du sucre de canne.

Sans vouloir porter un jugement sur les faits remarquables annoncés par M. Durin, je prends la liberté, afin de faciliter ses propres recherches, de rappeler que, dans une étude déjà ancienne sur la fermentation visqueuse et dont je n'ai publié qu'un court extrait en



Grossissement $= \frac{450}{1}$.

1861 [3], ne jugeant pas mes observations suffisantes, j'ai annoncé qu'il fallait distinguer deux sortes de fermentations visqueuses, produites par deux ferments organisés différents : l'un en très petits grains réunis en chapelets, l'autre presque de la grosseur de la levûre de bière, en cellules de formes plus ou moins irrégulières. Le premier m'a donné de la matière visqueuse, de la mannite et du gaz carbonique ; le second, une matière visqueuse sans mannite. C'est ce second ferment qui doit provoquer, suivant moi, le dédoublement annoncé par M. Durin.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 17 juillet 1876, LXXXIII, p. 176 (1 fig.).

2. DURIN. De la fermentation cellulosique du sucre de canne. *Ibid.*, séance du 10 juillet 1876, LXXXIII, p. 128-131.

3. *Voir* p. 134-135 du présent volume : Sur la fermentation visqueuse et la fermentation butyrique. (*Notes de l'Édition.*)

RÉPONSE (1) A M. FREMY [SUR LA GÉNÉRATION INTRACELLULAIRE DU FERMENT ALCOOLIQUE] (2)

M. Fremy me demande si j'admets toujours que des fruits qui, étant plongés dans le gaz carbonique, donnent de l'alcool et du gaz carbonique, selon les observations de MM. Lechartier et Bellamy et les miennes propres (3), ne présentent jamais à l'intérieur des cellules de levûre véritable.

Non, certainement, il n'y a jamais de levûre à l'intérieur, à moins que l'expérience ne soit mal faite, qu'on n'écrase les fruits sous leur poids et que, d'une manière ou de l'autre, on ne fasse pénétrer à l'intérieur les germes de levûre qui se trouvent à la surface des fruits mûrs.

Je renvoie, pour le détail des preuves, au Chapitre VI de l'ouvrage que je viens de publier, intitulé : *Études sur la bière* (4). M. Dumas travaillait dans mon laboratoire lorsque j'y ai fait ces observations sur les raisins, et il les a vérifiées séance tenante à diverses reprises (5).

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 17 juillet 1876, LXXXIII, p. 182.

2. Fremy. Sur la génération intracellulaire du ferment alcoolique. *Ibid.*, p. 180-181.

3. Lechartier et Bellamy. Étude sur les gaz produits par les fruits. *Ibid.*, LXIX, 1869, p. 356-360. — De la fermentation des fruits. *Ibid.*, p. 466-469.

Pasteur. Note sur la production de l'alcool par les fruits. *Ibid.*, LXXV, 1872, p. 1054-1056 ; et p. 401-402 du présent volume.

4. *Voir* tome V des Œuvres de Pasteur.

5. « M. Dumas ne croit pas bien nécessaire de confirmer par son témoignage des observations faites par M. Pasteur. Il n'a point oublié la précision singulière avec laquelle toutes les prévisions de notre éminent confrère furent confirmées par l'étude attentive des détails de ces expériences, qui s'effectuaient pour la première fois dans son laboratoire, à l'époque qu'il vient de rappeler. » (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXIII, p. 182).

[*Notes de l'Édition.*]

FERMENTATION DE L'URINE

Les Notes sur la fermentation ammoniacale de l'urine, présentées à l'Académie des sciences et à l'Académie de médecine en 1874, 1875 et 1876, sont placées dans le tome VI des Œuvres de Pasteur : « Maladies virulentes. » (*Note de l'Édition.*)

DISCUSSION AVEC LE Dr BASTIAN SUR LES GÉNÉRATIONS DITES SPONTANÉES

NOTE SUR L'ALTÉRATION DE L'URINE, A PROPOS D'UNE COMMUNICATION DU Dr BASTIAN, DE LONDRES [1]

L'Académie a reçu dans sa dernière séance une Note du Dr Bastian [2], partisan déclaré de la génération spontanée, et dont les écrits ont eu cette année même l'honneur d'une réfutation, devant la Société Royale de Londres, par le célèbre physicien anglais Tyndall [3].

Plus heureux que les inventeurs du mouvement perpétuel, les hétérogénistes auront longtemps encore la faveur de provoquer l'attention des corps savants. Dans l'ordre des sciences mathématiques, on peut démontrer que telle proposition n'est pas et ne saurait être; mais les sciences de la nature sont moins bien partagées. Les mathématiciens peuvent dédaigner de jeter les yeux sur tout Mémoire qui a pour objet la quadrature du cercle ou le mouvement perpétuel; la question des générations dites *spontanées* a toujours, au contraire, le privilège de passionner l'opinion publique, parce qu'il est impossible, dans l'état actuel de la Science, de prouver, *a priori*, que la manifestation de la vie ne peut avoir lieu de prime-saut, en dehors de toute vie antérieure semblable.

Qu'un observateur quelconque annonce avoir découvert un dispositif propre à faire naître la vie spontanée, il peut être assuré de la prompte adhésion de tous les adeptes systématiques de sa doctrine, et d'éveiller le doute parmi ceux qui n'ont acquis qu'une connaissance plus ou moins superficielle du sujet. Les travaux dont je parle seront plus remarqués encore si l'auteur se présente, comme c'est le cas du Dr Bastian, avec une situation élevée, un talent de dialectique et d'écrivain et des recherches consciencieuses.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 17 juillet 1876, LXXXIII, p. 176-180.

2. Bastian (H.-Ch.). Influence des forces physico-chimiques sur les phénomènes de fermentation. *Ibid.*, séance du 10 juillet 1876, LXXXIII, p. 159-161.

3. Tyndall. *Loc. cit.* (*Notes de l'Édition.*)

Voilà bientôt vingt années que je poursuis, sans la trouver, la recherche de la vie sans une vie antérieure semblable. Les conséquences d'une telle découverte seraient incalculables. Les sciences naturelles en général, la médecine et la philosophie en particulier, en recevraient une impulsion que nul ne saurait prévoir. Aussi, dès que j'apprends que j'ai été devancé, j'accours auprès de l'heureux investigateur, prêt à contrôler ses assertions. Il est vrai que j'accours vers lui plein de défiance. J'ai tant de fois éprouvé que, dans cet art difficile de l'expérimentation, les plus habiles bronchent à chaque pas et que l'interprétation des faits n'est pas moins périlleuse !

Voyons si le Dr Bastian a su triompher de ces deux écueils. On pourrait le croire, à lire le titre inattendu de sa communication : *Influence des forces physico-chimiques sur les phénomènes de fermentation*, et les passages suivants que j'en extrais textuellement :

« Mes observations, dit-il, ont été faites sur de l'urine portée à l'ébullition, soustraite à l'influence de tout germe atmosphérique, et qui, par conséquent, dans la théorie des germes, devrait rester stérile. Pour déterminer la production des bactéries dans cette urine, j'ai fait intervenir, comme influence chimique, la potasse et l'oxygène, et, comme influence physique, une température de 122° F. 50° C. . »

L'auteur termine son travail par cette déclaration :

« Il résulte donc des expériences que je viens d'analyser que la fermentation de l'urine est absolument indépendante des germes qui peuvent exister dans l'air. »

Je m'empresse de déclarer que les expériences de M. le Dr Bastian sont, en effet, très exactes ; elles donnent, *le plus souvent*, les résultats qu'il indique ; j'ajoute même qu'il est tout à fait inutile d'opérer, comme il le fait et comme il paraît croire que cela est nécessaire, à la température de 50° C. Dans la saison actuelle, de 25 à 30° et même au-dessous, l'urine bouillie, rendue alcaline par une solution aqueuse de potasse, au sein d'une atmosphère d'air pur, se remplit d'organismes, bactéries et autres. Si M. Tyndall, comme l'assure le Dr Bastian, a cru que cela n'était pas, c'est simplement un oubli de sa part. Le Dr Bastian ne peut ignorer, en effet, que les expériences qu'il vient de communiquer à l'Académie, ou du moins des expériences absolument du même ordre, ont été faites par moi et publiées pour la première fois dans mon Mémoire de 1862 intitulé : *Sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère, examen de la doctrine des générations spontanées* [1]. Je démontre dans ce Mémoire, de la

1. *Voir* ce Mémoire p. 210-294 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

page [253] à la page [259], que les liquides acides, qui deviennent stériles dans tous les cas par une exposition préalable de quelques minutes à 100°, sont, au contraire, féconds si on leur communique une faible alcalinité.

La nouveauté que le Dr Bastian introduit dans son travail, en recourant à une température de 50° C., n'est qu'apparente, puisque cette condition est tout à fait superflue. Il n'y a donc, entre M. Bastian et moi, qu'une différence dans l'interprétation d'expériences qui nous sont maintenant communes.

M. Bastian dit : « Ces faits prouvent la génération spontanée ». Et moi je réponds qu'il n'en est rien, qu'ils démontrent seulement que certains germes d'organismes inférieurs résistent à la température de 100°, dans les milieux neutres ou légèrement alcalins, sans doute parce que leurs enveloppes ne sont pas, dans ces conditions, pénétrées par l'eau, et qu'elles le sont, au contraire, si le milieu où on les chauffe est légèrement acide. Je rappellerai à ce propos que les ouvriers de la ville de Rouen (1), ainsi que nous l'a appris M. Pouchet, non suspect assurément en pareille matière, ont remarqué que certaines graines exotiques attachées aux brins de laine venant du Brésil germent après quatre heures d'exposition à la température de l'eau bouillante ; et M. Pouchet a prouvé que, toutes les fois que la germination avait lieu à la suite d'une ébullition si longtemps prolongée, c'est que les graines avaient conservé leur volume, leur enveloppe dure et cornée, n'avaient pas été pénétrées, en un mot, par l'eau ou la vapeur; dans tous les cas contraires, la germination devenait impossible (2). Pour ce qui est des germes disséminés dans les poussières en suspension dans l'air atmosphérique ordinaire, j'ai prouvé directement qu'ils périssent dans un milieu acide à 100°, mais qu'ils restent féconds dans ce milieu rendu alcalin. (Lire à ce sujet pages [258-259] de mon Mémoire précité.) Ils n'y périssent que de 100 à 110°. Les faits suivants porteront la conviction dans tous les esprits.

Le Dr Bastian veut-il s'assurer, en effet, de l'erreur de l'interprétation qu'il donne à mes résultats confirmés par les siens? Il le peut aisément : il obtient des bactéries en saturant de l'urine bouillie par une dissolution de potasse. Je l'invite simplement à faire tomber dans l'urine, non pas de la potasse en dissolution aqueuse, mais de la potasse solide après qu'elle aura été portée au rouge ou seulement à 110°. Jamais son expérience ne réussira, c'est-à-dire qu'il ne se formera

1. « Elbeuf », dans le texte de Pouchet.

2. POUCHET. Expériences comparées sur la résistance vitale de certains embryons végétaux (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXIII, 1866, p. 939-941). (*Notes de l'Édition.*)

plus du tout de bactéries dans l'urine exposée à 30, 40 ou 50°. La conclusion qu'il a déduite de nos expériences communes est donc absolument inadmissible, car il serait absurde de prétendre que le *primum movens* de la vie est dans la potasse caustique fondue. Telle est l'expérience décisive dans le sujet qui nous occupe. En un mot, je prie M. le Dr Bastian d'éloigner simplement les germes de bactéries que peut contenir la solution aqueuse de la potasse qu'il emploie. Si le Dr Bastian devait éprouver quelque difficulté, par suite du dispositif expérimental dont il se sert et qu'il ne décrit pas, à faire rougir au préalable la potasse avant de la faire tomber refroidie et solide dans l'urine, qu'il se serve encore de la dissolution aqueuse de potasse, mais, au lieu de la chauffer à 100°, qu'il la chauffe à 110°. Cette fois encore il aura la stérilité dans tous les cas, s'il opère rigoureusement. Enfin, si le Dr Bastian conserve encore des doutes, qu'il supprime la condition de l'ébullition préalable de l'urine. Chose assurément remarquable, quoiqu'elle ne fasse que confirmer une de nos assertions au sujet de l'urine normale de l'homme sain, on a encore la stérilité de l'urine rendue alcaline en laissant tomber un morceau de potasse solide en poids déterminé *dans de l'urine absolument normale sortant de la vessie*, recueillie avec les précautions que j'ai indiquées au Chapitre III de mon récent ouvrage sur la bière [1], pour éviter le contact des germes de l'air atmosphérique.

M. le Dr Bastian cherche consciencieusement la vérité. L'alternative dans la conclusion est maintenant impossible. J'ai le ferme espoir qu'il abandonnera sa croyance à la génération spontanée et aux preuves qu'il croit en avoir données.

M. Pasteur se plaît à reconnaître, en finissant, qu'il lui aurait été difficile de mener à bonne fin les expériences précédentes s'il n'avait eu le secours actif et intelligent de M. J. Joubert, professeur de physique au collège Rollin, et de M. Ch. Chamberland, agrégé-préparateur à l'École Normale supérieure.

M. Pasteur expose ensuite de vive voix des observations qui démontrent que l'urine d'un homme sain ne renferme aucun germe d'organismes étrangers à sa nature, mais que dans la plupart des cas, au moment de son émission, elle rencontre diverses sortes de germes, soit à l'extrémité du canal de l'urètre, soit dans l'atmosphère extérieure voisine de ce canal. M. Pasteur décrit également les appareils très simples qui lui ont servi à répéter les expériences du Dr Bastian, de manière à obtenir les résultats décisifs qu'il vient de faire connaître.

1. PASTEUR. Études sur la bière. *Paris*, 1876, in 8°. *Voir* tome V des Œuvres de Pasteur. (*Note de l'Édition.*)

SUR L'ALTÉRATION DE L'URINE.
RÉPONSE A M. LE Dr BASTIAN (1)

La réponse du Dr Bastian (2) est à côte du point en discussion, tel qu'il l'a soulevé lui-même.

Ainsi que j'ai eu l'honneur de le dire à l'Académie dans la séance du 17 juillet (3), les faits avancés par le Dr Bastian, huit jours auparavant, sont exacts. Ces faits sont la reproduction, sous une autre forme, d'expériences consignées pour la première fois dans mon Mémoire des *Annales de chimie et de physique* en 1862 (4). Puisque je suis entièrement d'accord avec M. le Dr Bastian sur le résultat de son expérience, notre dissentiment ne porte que sur l'interprétation qu'il faut donner à cette expérience.

Cela posé, ma Note du 17 juillet devait avoir et a eu pour but de reproduire l'expérience dont il s'agit, de façon à montrer au Dr Bastian que l'interprétation qu'il adopte est absolument inadmissible et démentie par l'expérience elle-même, quand celle-ci est conduite en vue de cette conséquence.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 7 août 1876, LXXXIII, p. 377-378.

2. BASTIAN. Note sur la fermentation de l'urine, à propos d'une communication de M. Pasteur. *Ibid.*, séance du 31 juillet 1876, LXXXIII, p. 362-363.

Dans cette Note le Dr Bastian dit :

« Pour interpréter le fait, admis par M. Pasteur, que l'urine, rendue stérile par l'ébullition, peut entrer en fermentation par l'addition d'une quantité déterminée d'une solution de potasse préalablement portée à 100°, il se contente d'affirmer que quelques germes de bactéries peuvent survivre dans cette liqueur caustique, même à la température d'ébullition.

« Cette hypothèse, assez incroyable par elle même, a été absolument réfutée par un grand nombre des expériences que j'ai faites cette année. Ces expériences ont démontré que la solution de potasse bouillie peut fertiliser l'urine rendue stérile, seulement quand on l'emploie dans une proportion correspondant à l'acidité et à la quantité exacte de liquide soumis à l'expérience... Je prierai M. Pasteur de vouloir bien donner une démonstration directe de ce fait, que des germes de bactéries peuvent survivre dans un liquide aussi caustique que la solution de potasse faite dans les proportions pharmaceutiques, quand elle est portée, même pour quelques instants, à une température de 100°.

« Je signalerai également à l'Académie ce fait, que l'urine fraîche et acide fermente après l'ébullition, sans l'addition de solution de potasse, mais seulement sous l'influence vivement provocatrice de la température de 50°, quand son acidité n'est pas très prononcée, c'est-à-dire quand elle peut être neutralisée par une quantité de solution de potasse ne dépassant pas $1 \frac{1}{2}$ pour 100. Ces liquides bouillis ne peuvent contenir des germes de bactéries vivants. »

3. *Voir* la Note qui précède.

4. *Voir* ce Mémoire p. 210-294 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

Voici ma démonstration : si l'urine rendue alcaline donne des bactéries SANS CONTENIR DE GERMES FÉCONDS DE CES ORGANISMES, il est de toute évidence que, pour le succès de l'épreuve, il importe peu, d'une part, que l'urine ait été neutralisée par de la potasse en solution ou par de la potasse solide qu'on vient de faire fondre, et, d'autre part, que l'urine ait été recueillie au sortir de la vessie (avec assez de précautions pour n'être pas souillée par les poussières extérieures), ou prise dans un vase quelconque.

Or, les expériences de ma Note du 17 juillet démontrent : 1° que l'urine bouillie, rendue alcaline par de la potasse solide, ne produit plus de bactéries ; 2° que l'urine fraîche, sortant de la vessie, sans ébullition préalable et saturée de même, n'en produit pas davantage.

L'interprétation donnée par M. le Dr Bastian aux faits qu'il a avancés est donc absolument erronée. Voilà ce que ma Note du 17 juillet avait pour but de démontrer et ce qu'elle démontre incontestablement.

Si M. le Dr Bastian veut entamer le débat sur d'autres points, je ne m'y oppose pas. Toutefois, je demande qu'il reconnaisse d'abord que, sur celui-ci, qu'il a lui-même soulevé, il s'est complètement trompé. Agir autrement, ce serait éterniser la discussion sans l'éclairer.

NOTE SUR L'ALTÉRATION DE L'URINE, A PROPOS DES COMMUNICATIONS RÉCENTES DU Dr BASTIAN

(AVEC LA COLLABORATION DE M. JOUBERT) [1]

L'Académie n'a pas oublié peut-être que, dans la séance du 10 juillet dernier, le Dr Bastian, professeur d'Anatomie pathologique à l'*University College* de Londres, a annoncé avoir découvert les conditions physico-chimiques nécessaires et suffisantes pour la génération spontanée de certaines variétés d'organismes microscopiques du genre bactérie [2]. L'expérience qui, d'après le savant anglais, réalise ces conditions, est fort simple : elle consiste à neutraliser exactement par une solution de potasse de l'urine *privée de tout germe d'organismes*, et à exposer le mélange à une température de 50°. Dans ces conditions, certaines variétés de bactéries apparaissent promptement.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 8 janvier 1877, LXXXIV, p. 64-66.
2. BASTIAN. *Loc. cit.* (*Note de l'Édition.*)

Le Dr Bastian ne s'est pas mépris sur la portée de ses conclusions. Pour tous ceux qui sont attentifs au mouvement médical, il est sensible que le débat relatif à la génération spontanée s'est transporté dans le domaine de l'étiologie des maladies contagieuses.

J'ai répété immédiatement l'expérience du Dr Bastian, et j'ai montré, entre autres choses, qu'il suffisait de déterminer la saturation de l'urine par de la potasse solide au lieu de potasse en dissolution aqueuse (ce qui ne modifie en quoi que ce soit les conditions physico-chimiques dont il s'agit), pour que le mélange reste parfaitement stérile. J'ai conclu dès lors que l'interprétation donnée par le Dr Bastian à son expérience était tout à fait inadmissible.

M. Bastian a répliqué (1). Il ne conteste pas du tout la légitimité de mon raisonnement, mais il affirme que j'ai dû mal reproduire son expérience, et dépasser le point exact de la neutralisation de l'urine. Telle est, suivant lui, la cause de la stérilité du liquide entre mes mains.

La question se trouve donc limitée à la connaissance de ce point : ai-je fait autre chose que de remplacer la potasse en solution par de la potasse fondue, et notamment ai-je dépassé le point de saturation de l'urine, et y a-t-il quelque inconvénient à le faire ?

J'ai examiné le débat réduit à ces termes, conjointement avec M. Joubert, avec toute l'attention dont nous sommes capables l'un et l'autre, et nous pouvons déclarer à l'Académie, sur la foi de nouvelles expériences, que la neutralisation exacte de l'urine par de la potasse solide qu'on vient de faire fondre laisse l'urine stérile. Nous ajoutons, quoique cela ne soit pas indispensable, qu'il n'y a aucun inconvénient, pour la fertilisation de celle-ci, dans l'expérience du Dr Bastian, à dépasser le point de neutralisation, même sensiblement (2).

La conclusion de ma Réponse du 17 juillet dernier est donc irréprochable ; par suite, il n'est point exact que le Dr Bastian ait trouvé les conditions physico-chimiques de la génération spontanée des bactéries.

Nous avons examiné expérimentalement, avec non moins d'attention, tous les autres points traités par le Dr Bastian dans ses publications des 31 juillet et 21 août, postérieures à sa Note originelle du 10 juillet. Nous sommes prêts à les discuter ; mais, comme ils pour-

1. Bastian. Note sur la fermentation de l'urine, à propos d'une communication de M. Pasteur. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 31 juillet 1876, LXXXIII, p. 362-363. — Sur la fermentation de l'urine, *Ibid.*, séance du 21 août 1876, LXXXIII, p. 488-490. (*Note de l'Édition.*)

2. Il n'est pas inutile de dire ici que, contrairement à ce que l'on admet généralement, l'urée en solution aqueuse ou dans l'urine se décompose à 100° et même à des températures bien inférieures. Le produit de la décomposition est le carbonate d'ammoniaque.

raient distraire l'attention du point vif du débat, nous y reviendrons plus tard s'il y a lieu. Une seule chose importe en ce moment, c'est de savoir si le Dr Bastian est toujours convaincu que l'urine neutralisée exactement *par la potasse* donne des organismes microscopiques.

Ce que nous venons de dire de l'influence de la potasse solide peut se répéter pour la potasse en solution après qu'elle a été portée à 110°. Mais nous désirons répondre aujourd'hui au Dr Bastian uniquement par les faits relatifs à la potasse solide qui suffisent, à eux seuls, pour condamner les conclusions qu'il a déduites de ses expériences.

Le lecteur fera sans doute la remarque que, dans la rédaction qui précède, nous avons évité avec un soin scrupuleux de prononcer le mot de *germe*, et d'opposer une doctrine à une doctrine. Il s'agit d'un fait : oui ou non, l'urine qui a bouilli de façon à être stérile, et mieux encore l'urine fraîche, naturelle, sortant de la vessie, n'ayant subi aucune ébullition préalable, donne-t-elle à 50° des organismes après qu'on l'a neutralisée par la potasse ? M. le Dr Bastian dit oui, et c'est là sa prétendue grande découverte. Nous disons non, et nous le démontrons en prouvant que M. le Dr Bastian eût obtenu un résultat absolument contraire à celui qu'il a annoncé, s'il se fût servi de la substance KO,HO, qui seule, dans l'espèce, quand elle est pure ou seulement associée à des matières minérales en petite quantité, a le droit exclusif d'être appelée *potasse*.

RÉPONSE A M. LE Dr BASTIAN [1]

M. le Dr Bastian, répondant à la communication que j'ai faite le 8 janvier en collaboration avec M. Joubert, a adressé à l'Académie, lundi dernier, une longue Note où il s'est encore appliqué, suivant moi, à éluder le point vif du débat [2]. Dans notre communication du 8 janvier [3], il y avait un mot d'une signification capitale : c'était celui de *potasse pure*. Or, chose surprenante, dans la réponse de trois pages du Dr Bastian, il n'y a pas même une allusion à cette condition de pureté, qui était tout.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 29 janvier 1877, LXXXIV, p. 206.

2. Bastian. Sur la fermentation de l'urine. Réponse à M. Pasteur. *Ibid.*, séance du 22 janvier 1877, LXXXIV, p. 187-190.

3. *Voir* la Note qui précède. (*Notes de l'Édition.*)

Je vais faire une nouvelle tentative pour ramener le savant anglais à ce *criterium*, auquel il ne saurait échapper, quoi qu'il fasse.

La discussion a été soulevée par cette affirmation qui lui est propre : *Une solution de potasse bouillie fait naître des bactéries à* 50° *dans l'urine stérile, après qu'on l'a ajoutée à celle-ci en quantité voulue pour la neutralisation exacte.* Le Dr Bastian a conclu qu'il avait découvert ainsi les conditions physico-chimiques de la génération spontanée de certaines bactéries.

Voici ma réponse au savant professeur d'Anatomie pathologique de Londres :

Je mets au défi le Dr Bastian d'obtenir, devant des juges compétents, le résultat que je viens de rappeler, avec de l'urine stérile, à la seule condition que la solution de potasse qu'il emploiera sera pure, c'est-à-dire faite avec de l'eau pure et de la potasse pure, l'une et l'autre exemptes de matières organiques. Si le Dr Bastian veut se servir d'une solution de potasse impure, je l'autorise encore parfaitement à la prendre telle et quelconque, dans la pharmacopée anglaise ou ailleurs, très diluée ou concentrée, à la seule condition que cette solution sera portée préalablement à 110° *pendant vingt minutes ou à* 130° *pendant cinq minutes.*

C'est assez clair, ce me semble, et M. Bastian me comprendra cette fois.

SUR LES GERMES DES BACTÉRIES EN SUSPENSION DANS L'ATMOSPHÈRE ET DANS LES EAUX

(AVEC LA COLLABORATION DE M. JOUBERT) [1]

Parmi les organismes microscopiques, il n'en existe probablement pas de plus répandus que les bactéries, à la surface du globe. Il suffit de se reporter aux expériences faites il y a plus de quinze ans déjà, par l'un de nous, au sujet de la génération dite *spontanée*, pour être convaincu que les poussières, en suspension dans les couches inférieures de l'atmosphère, ou répandues à la surface de tous les objets, contiennent toujours des germes de ces organismes.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 29 janvier 1877, LXXXIV p. 206-209.

Les eaux des fleuves et des rivières en sont constamment souillées, puisque la plus petite mare d'eau croupie en renferme par myriades, et que sans cesse les poussières atmosphériques en déposent sur le sol où les eaux de pluies les prennent et les rassemblent, toujours féconds pour la plupart; car les germes de ces organismes opposent une telle résistance à la destruction, qu'ils peuvent affronter le froid et le chaud, l'humide et le sec, et même des températures de 100 et quelques degrés dans des milieux neutres ou alcalins. Certains d'entre eux ne sont pas encore détruits à 120°, à l'état sec. Des expériences précises, confirmées par de nombreux observateurs allemands et anglais, ont démontré l'exactitude de ces principes, exposés d'abord dans le Mémoire publié en 1862, sur la question des générations dites *spontanées* (1).

Aussi, qu'elles sont nombreuses et difficiles à éviter les illusions, les causes d'erreur qui attendent un observateur, même avisé, lorsqu'il aborde le problème de l'origine de la vie, avec l'idée de découvrir dans l'apparition des bactéries les preuves de la doctrine de l'hétérogénese! Parmi tous les adeptes passés et présents de cette doctrine, quel est celui qui n'a pas succombé sous les coups de ces êtres invisibles, les plus petits de la création? Ce sont encore quelques-unes des espèces de ce groupe, qui viennent de faire descendre le Dr Bastian des hauteurs où il s'était placé pour annoncer avec éclat à l'Académie qu'il avait enfin découvert les vraies conditions physico-chimiques de la génération spontanée, par la simple addition d'une solution de potasse bouillie à de l'urine stérile jusqu'à neutralisation, puis portant le mélange à 50° C. Le Dr Bastian, malheureusement, n'a pas pris garde aux germes de bactéries que la température de 100° C. est impuissante à détruire, parce que le liquide où il chauffe ces germes est alcalin. (Voir PASTEUR, Mémoire de 1862) [p. 253 à 259].

La discussion pendante avec le Dr Bastian nous a déterminés à entreprendre un travail étendu au sujet des germes des organismes inférieurs que les eaux peuvent contenir; nous venons en présenter à l'Académie les premiers résultats (2) :

1. *Voir* p. 210-294 du présent volume : Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. (*Note de l'Édition.*)

2. Un très habile expérimentateur, le Dr Burdon-Sanderson [The origin and destruction of microzymes (bacteria) in water, and the circumstances which determine their existence in the tissues and liquids of the living body. *Quarterly Journal of Microscopical Science*, n. ser., XI, 1871, p. 323-352 (fig.)] a déjà, en 1871, fait des expériences directes avec divers liquides, et notamment avec la solution dite *de Pasteur* (Pasteur's solution : tartrate d'ammoniaque, sucre, cendres de levûre), expériences qui établissent la présence des germes de bactéries dans les eaux de Londres et dans certaines eaux distillées. Il a cru même prouver, contrairement aux faits pourtant si précis de mon Mémoire de 1862, mais qui paraissent lui avoir échappé, que les poussières en suspension dans l'atmosphère ne contenaient pas de germes de

1° Les germes de bactéries sont si nombreux dans certaines eaux, l'eau de la Seine par exemple, qu'une goutte de cette eau, prise en amont et à plus forte raison en aval de Paris, est toujours féconde et donne lieu à des développements de plusieurs espèces de bactéries, parmi lesquelles il en est dont les germes résistent à plus de 100° à l'état humide, dans les milieux qui ne sont pas acides, et à 130° pendant plusieurs minutes, dans l'air sec. Ces derniers germes sont identiques à ceux déjà étudiés dans le Mémoire précité de 1862, provenant des poussières de l'atmosphère, et qui avaient résisté à 100°.

2° Les eaux distillées de nos laboratoires renferment toujours des germes quoique en moindre nombre que les eaux ordinaires.

3° Les eaux distillées dans des vases absolument privés de germes étrangers sont d'une pureté parfaite, sous le point de vue qui nous occupe, c'est-à-dire qu'elles sont exemptes de germes d'organismes inférieurs.

4° Les eaux prises aux sources mêmes qui sortent de l'intérieur de la terre, que ni les poussières de l'atmosphère ou de la surface du sol, ni les eaux circulant à découvert n'ont encore souillées, ne renferment pas trace de germes de bactéries.

5° Les germes dont il s'agit sont d'un si petit diamètre qu'ils traversent tous les filtres, et, quoique en assez grand nombre dans une eau pour qu'une seule goutte de celle-ci en contienne toujours, ils n'en troublent pas le plus souvent la transparence qui peut sembler parfaite, comme c'est le cas de nos eaux distillées.

6° Nonobstant, nous ferons bientôt connaître la méthode simple qui nous permet de recueillir, d'observer, de nombrer même au besoin par le microscope et de suivre le développement de ces germes, qui paraissent se rattacher, du moins pour la plupart, à la seconde forme de génération, distincte de la scissiparité, que l'un de nous a signalée, le premier, comme étant propre à plusieurs sortes de bactéries ou de vibrions [1].

L'obligeance bien connue de M. Belgrand, et qui déjà ne nous a pas fait défaut, nous permet d'espérer que nous pourrons mener à bonne fin ce travail. Si les ressources ne nous manquent pas, nous lui donnerons de grandes proportions.

bactéries et que celles-ci, lorsqu'elles apparaissent spontanément dans les expériences relatives à la génération spontanée, proviennent exclusivement de l'eau ayant servi au nettoyage des vases quand on ne les flambe pas. En opposition à cette assertion, voir surtout les expériences du Chap. VII § A, p. 76 et suivantes, et celles du Chap. VIII, p. 94 et suivantes, de mon Mémoire des *Annales de chimie et de physique* de 1862 [p. 268-273 et p. 282-287 du présent volume.] — Le Dr Lister d'Édimbourg a réfuté également cette opinion en 1873 et confirmé les résultats que j'avais obtenus en 1862.

1. Pasteur, entraîné par d'autres recherches, ne publia pas la méthode d'examen des germes de l'eau. (*Note de l'Édition.*)

RÉPONSE VERBALE AU D[r] BASTIAN [1]

Je remercie M. le D[r] Bastian [2] d'avoir accepté la proposition que je lui ai adressée dans la séance du 29 janvier [3]. En conséquence, j'ai l'honneur de prier l'Académie de vouloir bien nommer une Commission chargée de faire un Rapport sur le fait qui est en discussion entre M. le D[r] Bastian et moi [4].

J'espère que M. le D[r] Bastian voudra bien provoquer, dans le sein de la Société royale de Londres, dont il est Membre, la nomination d'une Commission dans le même but.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 12 février 1877, LXXXIV, p. 307.

2. BASTIAN. Sur la fermentation de l'urine. Réponse à M. Pasteur. *Ibid.*, p. 306-307.

La réponse du D[r] Bastian se termine par ces mots : « Si M. Pasteur n'a pas cru devoir renoncer à son interprétation de mes expériences, en raison de « la preuve manifeste » que j'avais donnée dans ma dernière communication (p. 189 des *Comptes rendus*), j'espère qu'il acceptera franchement la réfutation de ses opinions, fournie par les expériences que j'ai maintenant l'honneur de communiquer à l'Académie et qui ont été faites en acceptant son propre défi. Ces expériences, j'espère les répéter, dans peu de temps, devant des juges compétents. »

3. *Voir* p. 466-467 du présent volume.

4. Dans la séance du 19 février, une Commission fut nommée, composée de MM. Dumas, Milne Edwards et Boussingault (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXIV, 1877, p. 329).

Dans la séance du 5 mars 1877, fut lue une lettre du D[r] Bastian à M. Dumas : « ... Je suppose, dit le D[r] Bastian, que la Commission jugera opportun de nous voir, M. Pasteur et moi, répéter nos expériences respectives avant d'émettre son opinion. C'est pourquoi je m'empresse de vous prévenir que, si cela peut s'arranger, je serai très heureux d'aller passer trois jours à Paris pour faire mes expériences devant la Commission de l'Académie. » (*Ibid.*, p. 43?).

Dans la séance du 16 juillet, M. Van Tieghem fut désigné pour remplacer M. Boussingault, « momentanément éloigné de l'Académie par un deuil. » (*Ibid.*, LXXXV, 1877, p. 130.)

Pasteur, dans la Note qui suit, rendit compte de l'expérience qu'il fit en présence de MM. Dumas, Boussingault et Milne Edwards. (*Notes de l'Édition.*)

NOTE AU SUJET DE L'EXPÉRIENCE DU Dr BASTIAN, RELATIVE A L'URINE NEUTRALISÉE PAR LA POTASSE (1)

Cette expérience consiste, comme on le sait, à porter de l'urine acide normale à l'ébullition ; puis une solution de potasse en volume dosé pour la neutralisation du volume d'urine employé est également portée à l'ébullition ; après refroidissement, les deux liquides sont mélangés, et le mélange placé dans une étuve à 50°. Le Dr Bastian obtient alors, dans un intervalle de deux ou trois jours, certaines espèces de bactéries dans le liquide. Sa conclusion est qu'il a trouvé les conditions physico-chimiques de la génération spontanée de ces organismes inférieurs.

Cette expérience comporte trois causes d'erreur. Les germes peuvent venir de l'urine ; l'ébullition à 100° ne suffit pas pour priver de vie les germes de certaines bactéries, quand l'urine est neutre, légèrement alcaline ou faiblement acide.

Les germes peuvent venir de la solution de potasse, germes apportés par l'eau qui a servi à faire la dissolution et qui ne sont pas détruits à la température de 100°.

La troisième cause d'erreur peut être fournie par les vases dont on se sert. Puisqu'il est démontré aujourd'hui, par les expériences que j'ai publiées en collaboration avec M. Joubert, le 29 janvier dernier (2), que les eaux qui sortent du sol à l'état de source et qui sont prises à la source même sont les seules qui ne contiennent pas de germes de bactéries, il en résulte que tout vase de verre lavé avec l'eau d'un laboratoire quelconque est recouvert de germes que cette eau a abandonnés, pendant que le vase était mis à égoutter et à sécher après son lavage. J'ajoute que nous avons démontré, en outre, que, parmi ces germes, il en est qui peuvent supporter à l'état sec une température de 120 à 130° pendant plusieurs minutes et 100° au moins à l'état humide.

M. Bastian se sert toujours d'une urine normale, sensiblement acide, et il ne repousse pas l'emploi d'une dissolution de potasse

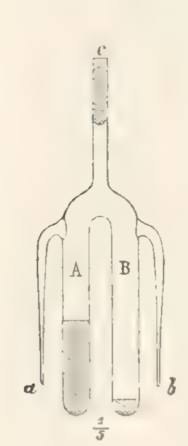
1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 23 juillet 1877, LXXXV, p. 178-180 (1 fig.).

Par cette Note de Pasteur se termina la controverse avec le Dr Bastian.

2. *Voir* p. 467-469 du présent volume : Sur les germes des bactéries en suspension dans l'atmosphère et dans les eaux. (*Notes de l'Édition.*)

chauffée à 110 et 120° pendant plusieurs minutes ; en conséquence, les deux premières causes d'erreur que je viens de mentionner sont complètement écartées. Reste la troisième, à laquelle M. Bastian n'a point songé, c'est du moins ce qu'il m'a dit itérativement.

M. le Dr Bastian doit donc obtenir des bactéries, puisqu'il en apporte par les vases. Il pourrait ne pas voir apparaître ces organismes, soit dans le cas où il se servirait, à son insu, de vases qui n'auraient pas été lavés depuis qu'ils sont sortis de la verrerie où ils ont été fabriqués, soit quand, par les circonstances mêmes des manipulations de son expérience, il ferait périr, à son insu encore, tous les germes qui sont à la surface de ses vases. M. le Dr Bastian a bien voulu me confier, en effet, que son expérience, telle qu'il la fait, tantôt donne des bactéries, tantôt n'en donne pas, ce qui suffit, suivant moi, pour infirmer la conclusion qu'il a déduite de ses expériences. Toute cause d'erreur bénéficie, en effet, au résultat de son expérience. Dans ces sortes d'études, le résultat positif est celui qui ne donne pas d'organismes, et le résultat négatif est celui où l'on en rencontre.



Voici la suite des opérations par lesquelles j'ai passé successivement pour reproduire l'expérience du Dr Bastian, en présence de MM. Dumas, Boussingault et Milne Edwards. En opérant comme je vais le dire, l'expérience réussit cent fois sur cent, mille fois sur mille, c'est-à-dire que jamais elle ne donne des bactéries :

Recueillir l'urine dans un vase qui a été flambé et qu'on a bouché avec un tampon de coton pendant son refroidissement.

40 à 50 centimètres cubes d'urine sont portés dans l'eau bouillante pendant dix minutes.

Prendre le titre acide de cette urine après son refroidissement. Introduire dans le tube à deux effilures, de la forme ci-jointe et flambé, un volume connu de solution de potasse correspondant à 15 centimètres cubes de l'urine dont l'acidité a été dosée.

Fermer le tube à deux effilures au-dessus du tampon de coton avec la lampe d'émailleur.

Porter ce tube dans le bain de chlorure de calcium à 110° pendant dix minutes. Laisser refroidir et laver le tube extérieurement pour enlever le chlorure de calcium adhérent.

Couper le haut de la branche du tube au-dessus du coton. Aspirer 17 à 18 centimètres cubes d'urine dans la branche ne contenant pas la potasse.

Plonger dans l'eau bouillante à 100° pendant dix minutes. Laisser refroidir.

Faire passer 15 centimètres cubes de l'urine dans la branche à potasse ; il reste ainsi 2 à 3 centimètres cubes d'urine non mélangée à la potasse et qui servent de témoin, afin de savoir si l'urine a bien été stérilisée par la température qu'on lui a fait subir; je le répète, ceci arrive toujours pour l'urine ayant une acidité convenable [1].

Porter le tube dans une étuve à 50°.

Résultat : jamais d'organismes formés.

1. C'est-à-dire avec une urine qui exige environ 1 à 2 centimètres cubes d'eau de chaux (saturée à la température ordinaire) pour 20 centimètres cubes d'urine, la neutralité étant obtenue avec certains papiers de tournesol. Si l'on se sert des papiers bleu tournesol et jaune curcuma anglais (tels que M. Bastian nous les a remis), on n'a la neutralité de l'urine qu'avec 5 à 7 centimètres cubes d'eau de chaux, alors qu'on l'obtient déjà pour d'autres papiers de tournesol en employant 1 à 2 centimètres cubes de cette même eau de chaux. Pour certains papiers (papiers anglais), la neutralité correspond sensiblement à l'apparition (dans l'urine qu'on neutralise par l'eau de chaux) d'un très léger trouble floconneux. Ces diverses sortes de papier donnent les mêmes limites avec les sels minéraux à acides forts.

RÉPONSE VERBALE A M. TRÉCUL [1]
[A PROPOS DE L'ORIGINE DES LEVURES ALCOOLIQUES] [2]

J'ai le regret de dire que toutes les assertions que notre confrère vient d'émettre sont inexactes :

1° La Note de M. Gayon n'est pas relative à la levûre de *mucor* observée pour la première fois par Bail, non en 1860 comme vient de le dire M. Trécul, mais en 1856 [1857] [3]. M. Gayon s'occupe d'un exemple tout nouveau d'une levûre analogue que lui ont fournie des *mucor* nouvellement décrits par M. Van Tieghem, notamment le *mucor circinelloides*.

2° M. Trécul pense qu'il a, le premier, fait observer que la levûre de Bail ne se transforme pas en levûre de bière, comme ce botaniste le pensait. Cette rectification, je l'avais faite dès le mois de mars 1861 devant la Société philomathique [4]. M. Trécul trouvera l'extrait textuel du *Bulletin* de cette Société, relatif à ma communication, dans mes *Etudes sur la bière* (Paris, 1876), p. 126 [5].

3° M. Trécul affirme de nouveau que le *penicillium glaucum*, ainsi qu'Hoffmann et d'autres l'admettaient, se transforme en une levûre de bière de petite dimension. J'ai combattu cette assertion dès 1861 et plus récemment devant l'Académie [6]. M. Trécul pourra lire la réfutation expérimentale que j'en ai donnée, très détaillée, dans mes *Études sur la bière*, notamment aux Chap. IV et VI [7].

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 7 janvier 1878, LXXXVI, p. 56.

2. Pasteur avait lu une Note de M. Gayon « Sur l'inversion et sur la fermentation alcoolique du sucre de canne par les moisissures » (*Ibid.*, p. 52-54). M. Trécul, après la lecture de cette Note, avait présenté « Quelques remarques sur l'origine des levûres alcooliques » (*Ibid.*, p. 54-56).

3. BAIL. Ueber Hefe. *Flora*, XL, 1857, p. 417-430 et 433-444.

4. *Voir* p. 139 du présent volume : Sur les prétendus changements de forme et de végétation des cellules de levûre de bière suivant les conditions extérieures de leur développement.

5. *Voir* tome V des Œuvres de Pasteur.

6. *Voir* p. 139 du présent volume : Sur les prétendus changements de forme et de végétation des cellules de levûre de bière suivant les conditions extérieures de leur développement. — Et p. 420-426 : Production de la levûre dans un milieu minéral sucré.

7. *Voir* tome V des Œuvres de Pasteur. (*Notes de l'Édition.*)

NOTE (1)
A L'OCCASION DU PROCÈS-VERBAL DE LA DERNIÈRE SÉANCE

J'ai le regret de dire à l'Académie que M. Trécul, au lieu de se borner à reproduire seulement ce qu'il avait dit dans la dernière séance (2), y a ajouté de nombreux commentaires qui ont porté à deux pages entières des *Comptes rendus* les quelques observations qu'il avait faites au cours de cette séance.

Je ne me plains pas de ces additions faites après coup et qui ne m'ont pas été communiquées par M. Trécul, car je suis prêt à le suivre dans toutes ses assertions concernant mes recherches ; seulement les additions dont je parle exigent de ma part une réponse complémentaire.

Voici comment je m'exprimais, le 30 mars 1861, devant la Société philomathique (3) :

« Depuis MM. Turpin et Kützing, les botanistes ont été à peu près unanimes à regarder la levûre de bière comme une forme de développement de divers végétaux inférieurs, notamment du *penicillium glaucum*. Les études à ce sujet qui paraissent avoir eu le plus de faveur dans ces dernières années appartiennent à MM. Wagner, Bail, Berkeley, Hoffmann... Il m'a été impossible de voir la LEVURE DE BIÈRE se transformer en une mucédinée quelconque, et réciproquement je n'ai pu arriver à faire produire aux mucédinées vulgaires la plus petite quantité de LEVURE DE BIÈRE. »

Les mucédinées vulgaires étudiées dans mon travail de 1860-1861, travail que l'on retrouverait dans les archives de la Société philomathique, et qui n'a été publié que par extrait dans son Bulletin, étaient surtout le *mucor*, le *penicillium glaucum*, mucédinées qui avaient fait particulièrement le sujet des études des quatre naturalistes que je viens de nommer : Wagner, Bail, Berkeley, Hoffmann; Bail, entre autres, ne s'était occupé que des *mucor* vulgaires.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 14 janvier 1878, LXXXVI, p. 90-92.

2. TRÉCUL. Quelques remarques sur l'origine des levûres alcooliques. *Ibid.*, séance du 7 janvier 1878, p. 54-56.

3. *Voir* p. 139 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

Il y a deux choses dans le travail de Bail [1] : d'une part le passage d'un *mucor* à une levûre, de l'autre l'affirmation que cette levûre est de la levûre de bière ; c'est ce second point seulement du travail de Bail que, en 1860 [1861], j'ai nié être exact, rectification qui a été confirmée par M. Trécul [2], huit années après moi. Contrairement à ce qu'affirme M. Trécul, je n'ai jamais nié le passage d'un *mucor* en levûre alcoolique ; je le répète, ce que j'ai nié, c'est la transformation d'un *mucor* et du *penicillium glaucum*, et en général des moisissures communes, en levûre de bière, ainsi que le démontrent les citations que je viens de faire de mon travail de 1860 [1861].

M. Trécul termine en disant « que j'ai élevé une barrière entre les levûres et les moisissures ». M. Trécul se trompe encore sur ce point : non seulement je n'ai jamais élevé de barrière entre les levûres et les moisissures ; le premier, au contraire, j'ai signalé les conditions véritables d'un lien physiologique étroit entre les moisissures et les ferments proprement dits.

Voici ce qu'on lit, en effet, dans le *Bulletin de la Société chimique*, séance du 28 juin 1861 [3] :

« En résumé, la levûre de bière se comporte absolument comme une plante ordinaire, et l'analogie serait complète si les plantes ordinaires avaient pour l'oxygène une affinité qui leur permît de respirer à l'aide de cet élément enlevé à des composés peu stables, auquel cas, suivant M. Pasteur, on les verrait être ferments pour ces matières.

« M. Pasteur annonce qu'il espère réaliser ce résultat, c'est-à-dire rencontrer des conditions dans lesquelles certaines plantes inférieures vivraient à l'abri de l'air en présence du sucre, en provoquant alors la fermentation de cette substance à la manière de la levûre de bière. »

Ces prévisions ont été amplement justifiées depuis 1860 [1861] par moi et par d'autres, et notamment encore, dans la dernière séance, par les publications de MM. Müntz et Gayon [4].

1. Bail. *Loc. cit.*

2. Trécul. Observations sur la levûre de bière, sur le *mycoderma cervisiæ* et sur la levûre du *mucor*. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXVII, 1868, p. 362-369.

3. *Voir* p. 148-149 du présent volume : Influence de l'oxygène sur le développement de la levûre et la fermentation alcoolique.

4. Müntz (A.). Recherches sur la fermentation alcoolique intracellulaire des végétaux. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXVI, 1878, p. 49-52. — Gayon. Sur l'inversion et sur la fermentation alcoolique du sucre de canne par les moisissures. *Ibid.*, p. 52-54. (*Notes de l'Édition.*)

[REMARQUES [1] À L'OCCASION DE LA COMMUNICATION DE M. GUNNING SUR L'ANAÉROBIOSE] [2]

Il y a déjà dix-sept ans que j'ai publié les premiers faits relatifs à la *vie sans air* ou *anaérobiose*. Dès cette époque, je me suis préoccupé de la cause d'erreur que l'auteur signale dans la Note précédente, et, malgré la rigueur très grande, je crois, de mes premières expériences, j'ai toujours cherché, depuis lors, à rendre cette rigueur plus parfaite. Tout récemment, à l'occasion des études que j'ai publiées, le 30 avril dernier, en collaboration de MM. Joubert et Chamberland [3], nous avons poussé encore plus avant la recherche des moyens propres à éliminer d'une manière absolue l'air de nos vases. A cet effet, nous avons combiné l'action du vide de la pompe à mercure avec les propriétés de l'indigo blanc, substance si connue pour ses effets d'absorption de l'oxygène, depuis le beau travail de M. Dumas à ce sujet [4].

Si l'auteur de la Note qui précède veut bien aller plus loin dans ses observations, s'il veut bien remarquer, ce qu'il ne paraît pas avoir fait, que la putréfaction s'arrête souvent, non par la mort des organismes microscopiques, mais parce que ceux-ci ont passé à l'état de germes, je ne doute pas qu'il ne soit conduit, comme l'a été le Dr Brefeld pour le développement de la levûre alcoolique [5], à revenir sur ses assertions, et à reconnaître que l'existence d'êtres anaérobies repose sur des preuves expérimentales irréfutables.

Dans la seconde partie de sa Note, M. Gunning combat les conclusions du Dr Bastian sur la génération spontanée. Je suis heureux de la confirmation qu'il apporte aux arguments que j'ai déjà fait valoir contre le travail de l'auteur anglais [6].

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 1er juillet 1878, LXXXVII, p. 33-34.

2. Gunning. Sur l'anaérobiose des micro-organismes. *Ibid.*, p. 31-33.

3. Pasteur. La théorie des germes et ses applications à la médecine et à la chirurgie. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXVI, 1878, p. 1037-1043. *Voir* tome VI des Œuvres de Pasteur.

4. Dumas (J.-B.). Sur la nature de l'indigo et sur la véritable composition de quelques produits auxquels il donne naissance. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, III, 1836, p. 143-147. (*Note de l'Édition.*)

5. *Voir* p. 443-444 du présent volume.

6. *Voir* p. 459-473 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

DISCUSSION AVEC M. TRÉCUL SUR LES AÉROBIES ET LES ANAÉROBIES

RÉPONSE (1) [A M. TRÉCUL] (2)

Les souvenirs de M. Trécul le trompent. Il s'en convaincra lorsqu'il aura recours à des citations textuelles pour appuyer ses observations.

Dès 1861, et sans avoir jamais varié d'opinion sur ce point, j'ai établi qu'il existait des êtres aérobies, des êtres anaérobies et d'autres qui, comme la levûre de bière, étaient à la fois aérobies et anaérobies (3). Je le répète, ces assertions et leurs preuves sont de 1861. M. Trécul est donc tout à fait dans l'erreur.

RÉPONSE (4)
AUX NOTES DE M. TRÉCUL DES 30 DÉCEMBRE ET 13 JANVIER

Dans sa première Note (5), M. Trécul dit :

« .... la levûre de bière elle-même qui, pendant nombre d'années,

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 30 décembre 1878, LXXXVII, p. 1059.

2. A propos d'une Réponse de Pasteur à Berthelot, au sujet des Notes posthumes de Claude Bernard (*Ibid.*, p. 1053-1858. *Voir* plus loin : IV. Examen critique d'un écrit posthume de Claude Bernard sur la fermentation), M. Trécul avait présenté des « Observations » (*Ibid.*, p. 1058-1059), dans lesquelles il s'était exprimé ainsi : « ...M. Pasteur, qui, tout à l'heure, partageait les êtres inférieurs en *aérobies* et *anaérobies*, rangeant les levûres dans les *anaérobies*, ajouta qu'il avait reconnu une troisième classe d'êtres, qui, suivant les circonstances, jouissent de la propriété de vivre à l'air ou à l'abri de l'oxygène. Je fis alors remarquer que l'établissement de cette troisième classe d'êtres constitue une opinion toute nouvelle... »

3. *Voir* p. 142-147 du présent volume : Expériences et vues nouvelles sur la nature des fermentations.

4. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 20 janvier 1879, LXXXVIII, p. 106-107.

5. TRÉCUL, Observations concernant la communication de M. Pasteur. *Ibid.*, séance du 30 décembre 1878, LXXXVII, p. 1058-1059. (*Notes de l'Édition*.)

fut, pour M. Pasteur, l'*anaérobie* par excellence, c'est-à-dire le type des *ferments* ou zymiques. »

Jamais je n'ai dit cela, cent fois j'ai dit le contraire. Invariablement, depuis 1861, l'année où j'ai signalé pour la première fois l'existence des *anaérobies* et opposé leurs propriétés aux *aérobies*, j'ai dit et prouvé que la levûre de bière était, suivant les conditions extérieures du milieu propre à sa nutrition et à son développement, tantôt *aérobie*, tantôt *anaérobie*.

Dans sa deuxième Note (1), M. Trécul dit :

« .... A la page 1040 du tome LXXXVI des *Comptes rendus* (année 1878), on trouve que le vibrion septique se résout en corpuscules-germes qui vivent dans l'air et y sont conservés. »

Jamais je n'ai écrit cela ; jamais je n'ai écrit que les corpuscules-germes du vibrion septique vivent dans l'air. C'est le contraire qui est écrit et prouvé à cette page 1040. Il est démontré dans la communication (2), et notamment à cette page 1040, que le vibrion septique *ne peut vivre dans l'air*, que l'air le tue et le détruit, que c'est un être exclusivement *anaérobie*.

M. Trécul répondit à Pasteur (3) :

« Je ne veux pas répondre aujourd'hui à M. Pasteur. Il me sera facile de prouver que notre confrère ne détruit aucune de mes objections. Je me bornerai à dire que l'alinéa de la page 1040 à 1041 qu'il vient de lire montre que les germes du vibrion septique ne redoutent pas l'action de l'oxygène, qui tue les vibrions eux-mêmes ; que, par conséquent, ces germes ne sont pas tués par l'air, dans lequel ils sont conservés et par lequel ils sont dispersés et semés. Donc ils sont *aérobies* et les vibrions qu'ils produisent *anaérobies*. Il est en outre évident que, puisqu'il y a deux états bien distincts pour la même espèce, M. Pasteur n'était pas autorisé à établir une classification qui n'en comporte qu'un. »

Pasteur fit à M. Trécul les « Observations » suivantes :]

1. Trécul. Existe-t-il, parmi les êtres inférieurs dont nous nous occupons, des espèces exclusivement *aérobies* et d'autres exclusivement *anaérobies* ? Tous ces êtres doivent-ils être rangés dans deux classes ou dans trois, comme l'a successivement admis M. Pasteur, ou dans une seule, comme je l'ai indiqué dernièrement? *Ibid.*, séance du 13 janvier 1879, LXXXVIII, p. 54-58.

2. Pasteur. La théorie des germes et ses applications à la médecine et à la chirurgie. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXVI, 1878, p. 1037-1043. Voir tome VI des Œuvres de Pasteur.

3. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 20 janvier 1879, LXXXVIII, p. 107. (*Notes de l'Édition.*)

OBSERVATIONS [1] [A M. TRÉCUL]

M. Trécul change ici arbitrairement l'acception scientifique ou vulgaire des mots *vie*, *aérobie*, *anaérobie*.

Le mot *vie* signifie nutrition, développement; le mot *aérobie* signifie vie, nutrition, développement au contact de l'air avec absorption de son oxygène; le mot *anaérobie* veut dire vie, nutrition, développement hors du contact de l'air et sans participation aucune de l'oxygène de l'air.

Les corpuscules-germes NE VIVENT PAS et n'ont aucun des caractères de la vie, c'est-à-dire de la nutrition, du développement, de la génération.

Les questions que couvrent ces mots *vie latente des germes* n'ont jamais été abordées par moi; elles sont hors de la discussion. La citation de M. Trécul reste absolument inexacte.

OBSERVATIONS VERBALES [2] [A M. TRÉCUL] [3]

Toute cette lecture de M. Trécul me paraît sans fondement.

En ce qui concerne la levûre, ma réponse se trouve page 106 du *Compte rendu* du 20 janvier [4]; l'argumentation de M. Trécul la laisse entière.

Quant au vibrion septique, il reste vrai que M. Trécul a écrit dans le *Compte rendu* du 13 janvier :

« ... A la page 1040 du tome LXXXVI des *Comptes rendus* (1878), on trouve que le vibrion septique se résout en corpuscules-germes qui vivent dans l'air et y sont conservés », et que cette citation est inexacte, c'est-à-dire qu'on ne trouve pas à la page 1040 que *les corpuscules-*

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 20 janvier 1879, LXXXVIII, p. 107-108.

2. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 10 février 1879, LXXXVIII, p. 254-255.

3. TRÉCUL. Dernière réponse à M. Pasteur. *Ibid.*, p. 249-254.

4. *Voir* cette « Réponse » p. 478-479 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

germes du vibrion septique vivent dans l'air. M. Trécul continue de confondre les mots *vie latente des germes* au contact de l'air avec la vie, la nutrition, l'évolution, la génération au contact de l'air.

Nous avons à considérer la vie et la fermentation. La *vie latente* des germes ne m'a jamais occupé, et même, à ma connaissance, mon savant ami et élève, M. Duclaux, est la seule personne qui ait abordé une des mille questions que couvre le mystère qu'expriment ces mots : *vie latente des germes* ; c'est lorsque M. Duclaux a prouvé que la graine des vers à soie a besoin du froid de l'hiver pour pouvoir germer au printemps suivant [1].

[M. Trécul répond : « Je n'ai qu'un mot à ajouter : c'est qu'il s'agit entre nous de l'appréciation d'une classification... » Pasteur réplique [2] :]

Ma classification est ce qu'elle est. Acceptez-la ou rejetez-la, cela vous regarde. Pour moi, elle est excellente.

1. DUCLAUX. De l'influence du froid de l'hiver sur le développement de l'embryon du ver à soie et sur l'éclosion de la graine. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXIX, 1869, p. 1021-1022.

2. *Ibid.*, séance du 10 février 1879, LXXXVIII, p. 255. (*Notes de l'Édition.*)

IV

EXAMEN CRITIQUE

D'UN

ÉCRIT POSTHUME DE CLAUDE BERNARD

SUR

LA FERMENTATION [1]

1. *Paris*, 1879. Opuscule de XXIV-156 pages in-8°, Gauthier-Villars, éd.

A M. JACOBSEN,

A CARLSBERG, EN DANEMARK.

MONSIEUR,

Après avoir acquis dans l'industrie de la brasserie une renommée européenne, vous avez fondé à Carlsberg un laboratoire qui doit être destiné uniquement aux progrès de l'art du brasseur. Quinze cent mille francs ont été consacrés par vous à la construction de l'édifice et à la dotation perpétuelle des recherches qu'on doit y exécuter.

Par cette libéralité, vous donnez aux chefs des industries du monde entier un noble exemple de reconnaissance envers la Science, source féconde de tous les progrès durables.

Il y a quelques mois, vous me faisiez l'honneur de m'adresser une lettre où je lisais avec émotion ce passage : « Je vous serais très obligé si vous vouliez me permettre de faire exécuter par un des grands artistes qui honorent la France, M. Paul Dubois, votre buste en marbre pour l'ériger dans le laboratoire de Carlsberg, en commémoration des services rendus à la Chimie, à la Physiologie et à la brasserie par vos travaux sur la fermentation, base de tous les progrès futurs de l'art du brasseur ».

Cette pensée si flatteuse restera dans la mémoire de ma famille comme un des plus précieux hommages rendus à mes efforts.

Vous voudrez bien accueillir, comme un très faible témoignage de ma reconnaissance et par souvenir de la sympathie qui unit la France au Danemark, la dédicace du présent opuscule, où je réponds à un écrit posthume de l'illustre physiologiste Claude Bernard sur la fermentation alcoolique.

Veuillez agréer, Monsieur, l'hommage de ma respectueuse et profonde estime.

L. PASTEUR.

INTRODUCTION

L'ouvrage que j'offre au public a pour objet la réfutation d'un écrit de Claude Bernard qui fut mis au jour six mois environ après la mort de l'illustre physiologiste. Cette publication excita une surprise universelle. On savait qu'à maintes reprises, dans des conversations, dans des écrits, dans des Rapports académiques, Claude Bernard avait exprimé sur mes travaux une approbation sans réserve, tandis que dans ces Notes posthumes, à la suite d'expériences personnelles, il se trouvait en contradiction sur tous les points essentiels avec les résultats de mes études de ces vingt dernières années. Il faudrait méconnaître entièrement la noble passion qui anime tout savant, digne de ce nom, dans la recherche de la vérité, pour imaginer qu'entre Bernard et moi des mésintelligences auraient pu surgir, capables d'altérer la bonne opinion qu'il avait eue jusque-là de mes travaux. Bernard a été une des plus pures personnifications du savant et l'on ne nommerait pas un membre de l'Académie des sciences moins porté qu'il ne le fut à mêler au culte de la Vérité des considérations étrangères. Toutefois, je veux écarter jusqu'au soupçon de l'idée qu'un nuage aurait pu traverser nos relations de bonne confraternité. Qu'il me soit permis d'en aller chercher la preuve dans des souvenirs intimes.

La santé de Bernard fut très éprouvée pendant l'année 1866. Les médecins avec lesquels il était en communication habituelle, les Drs Rayer et Davaine, avaient perdu tout espoir de le guérir. Bernard, qui comptait peu sur la médecine, mais beaucoup sur la nature, l'hygiène et les soins que pourrait lui suggérer un examen attentif et quotidien des symptômes de son mal, se réfugia courageusement à cette même maison de campagne de Saint-Julien d'où sont datées les *Notes sur la fermentation*, dont je vais faire un examen critique. Ses amis, qui suivaient la marche de sa maladie avec la plus vive anxiété, s'ingéniaient, pour la plupart, à lui adresser des consolations et de réconfortants souvenirs. Personnellement, j'eus l'idée de faire paraître

dans le *Moniteur universel* une appréciation sommaire de l'importance de ses travaux, de son enseignement et de sa méthode. Voici textuellement cet article, qui scella, pour ainsi dire, entre nous des liens d'une mutuelle et affectueuse confiance, comme on pourra s'en convaincre tout à l'heure :

Claude Bernard.

Idée de l'importance de ses travaux, de son enseignement et de sa méthode (1).

I

Des circonstances particulières m'ont offert l'occasion toute récente de relire les principaux Mémoires qui ont fondé la réputation de notre grand physiologiste, Claude Bernard.

J'en ai ressenti une satisfaction si vive et si vraie, mon admiration pour son talent s'en est trouvée confirmée et accrue de telle sorte, que je ne puis résister au désir, quelque téméraire qu'il soit, de communiquer ces impressions. O la bienfaisante lecture que celle des travaux des inventeurs de génie ! En voyant se dérouler sous mes yeux tant de progrès durables, accomplis avec une telle sûreté de méthode qu'on ne saurait présentement en imaginer de plus parfaite, je sentais à chaque instant le feu sacré de la Science s'attiser dans mon cœur.

II

Natura non facit saltus, a-t-on dit. Il en est ainsi des progrès de la Science. Le souffle fécond qu'avaient répandu dans les études médicales Bichat et Magendie, l'impulsion physiologique donnée à la Chimie organique par les travaux de MM. Dumas en France, Liebig en Allemagne, devaient porter leurs fruits. Claude Bernard a été comme la résultante de ce double mouvement, et, dans vingt ans, moins ou plus, sous l'influence de l'esprit nouveau auquel son nom restera attaché, on verra peu à peu disparaître les ténèbres, héritage d'un autre âge, qui enveloppent encore la marche mal assurée des sciences médicales.

La Physiologie a éprouvé vers la fin du XVIIIe siècle une profonde transformation. Le *vitalisme* régnait à cette époque à peu près exclusivement dans les écoles. « Disciples de Bordeu, a dit un savant profes-

1. *Moniteur universel*, numéro du 7 novembre 1866, p. 1284-1285. (*Note de l'Édition.*)

seur de la Faculté de Paris, tout était pour nous subordonné à l'influence suprême de l'organisation et de la vie ; les vérités physiologiques nous paraissaient d'un ordre plus élevé que celles dont s'occupent les physiciens et les chimistes. Professant avec Aristote qu'où le physicien s'arrête le médecin commence, nous n'admettions qu'avec une extrême réserve les explications de la Chimie pneumatique, si brillante alors et cultivée par des hommes d'un si rare génie. »

De telles erreurs de principe ne pouvaient rester debout en présence des remarquables découvertes de la fin du dernier siècle. En démontrant que la chaleur animale était subordonnée à des phénomènes purement chimiques, que la fonction de la respiration consistait essentiellement dans un acte de combustion, Lavoisier n'avait-il pas établi d'une façon merveilleuse que les êtres vivants, non moins que les êtres inorganiques, sont soumis aux lois générales de la matière ?

Toutefois, il est rare qu'une réaction contre des opinions régnantes ne dépasse pas le but. Aussi vit-on, à quelques années de là, la découverte de la pile électrique éblouir à ce point les esprits, qu'un grand nombre de médecins et de physiologistes crurent que l'on venait de rencontrer la source même de la vie.

Cette effervescence se calma et l'on comprit de nouveau, car c'est toujours là qu'il faut en revenir, qu'au lieu de disserter sur l'essence des choses, laquelle nous échappe, il fallait avant tout rassembler des faits bien observés et continuer par des épreuves sur les animaux vivants les travaux des hommes célèbres qui, à l'exemple d'Harvey et de Spallanzani, avaient fondé la Physiologie sur l'expérience. Un des savants qui s'éleva alors avec le plus de force et d'autorité contre l'esprit de système dans les études physiologiques et médicales, par son enseignement non moins que par la nouveauté de ses observations, fut précisément le maître de Claude Bernard, Magendie, dont le plus beau titre à la reconnaissance de la postérité sera peut-être d'avoir contribué à former un tel disciple.

III

Je ne songe pas à présenter ici un examen détaillé des découvertes de Claude Bernard : je n'en ai point le loisir, et l'espace me manquerait. C'est mon sentiment sur l'importance de ses travaux, de son enseignement et de sa méthode que je veux épancher, comme ces personnes qui éprouvent une sorte de malaise à admirer seules et en silence les œuvres de génie

Depuis quinze années, toutes les découvertes de Bernard portent le même cachet de supériorité. Il me suffira d'en caractériser une seule pour mettre le lecteur en état d'apprécier toute la vigueur de son talent. Je choisirai celle dont Bernard aimerait peut-être à nous entretenir lui-même, s'il avait à distinguer dans ses œuvres la plus propre à instruire par l'esprit de méthode et d'invention qui a présidé à toutes les phases de son brillant développement.

Lorsque Bernard se présenta, en 1854, pour occuper l'une des places vacantes de l'Académie des sciences, sa découverte de la fonction glycogénique du foie n'était ni la première ni la dernière en date parmi celles qui déjà l'avaient placé si haut dans l'estime des savants. Ce fut néanmoins par elle qu'il commença l'exposé des titres scientifiques qui le recommandaient aux suffrages de l'illustre Compagnie. Cette préférence du maître décide de la mienne.

IV

De tous les travaux de Claude Bernard, l'un des plus remarquables et des plus dignes d'être médités, consiste, en effet, dans l'admirable série de recherches auxquelles il a soumis l'appareil du foie, de tous les organes glandulaires le plus volumineux, l'un des plus constants dans la série animale et le moins connu dans ses véritables fonctions. Par son volume, par la complexité de sa structure, par la singularité de ses relations avec l'appareil circulatoire, il était difficile de comprendre que le foie n'eût d'autre rôle que celui de sécréter la bile. Tel était pourtant le seul qu'on lui attribuât jusqu'aux belles expériences de Claude Bernard. Aujourd'hui nous savons qu'il en a au moins un autre, qui était resté complètement ignoré des zoologistes et des médecins, et qui consiste dans une production de matière sucrée que les veines hépatiques déversent constamment dans le système circulatoire.

Par des tentatives qu'une méthode d'investigation des plus fécondes pouvait seule inspirer, Claude Bernard a mis en outre en pleine lumière la liaison étroite qui existe entre la sécrétion du sucre dans le foie et l'influence du système nerveux. Il a démontré avec une rare sagacité que, en agissant sur telle ou telle partie déterminée de ce système, on pouvait à volonté supprimer ou exagérer la production du sucre. Il a fait mieux encore : il a découvert dans le foie l'existence d'une matière toute nouvelle qui est la source naturelle où puise cet organe pour fabriquer le sucre qu'il produit.

Ce qui ajoute encore à l'éclat de ces découvertes, c'est l'imprévu

qui s'y est mêlé à l'origine, car l'observation comparée des actes nutritifs chez les végétaux et chez les animaux faisait, au contraire, penser que l'organisme animal était incapable de produire de la matière sucrée. Sans doute on savait, déjà avant Bernard, qu'il peut se rencontrer du sucre, dans diverses circonstances normales ou pathologiques, soit dans le sang, soit dans d'autres liquides animaux ; mais, quant à l'origine de ce sucre, toutes les données de la Science conduisaient à admettre qu'il provenait exclusivement de l'alimentation. En effet, le sucre et la fécule, formés en quantité considérable dans le règne végétal, sont utilisés par les animaux qui les détruisent pour s'en nourrir. Il en résulte deux phénomènes, en apparence corrélatifs, qui s'accomplissent constamment sous nos yeux : production abondante de matières saccharoïdes dans les végétaux ; destruction rapide de ces mêmes produits pour l'alimentation des animaux. Il était dès lors logique de croire que les matières alimentaires sucrées ou féculentes devaient être l'origine exclusive des principes sucrés de l'organisme animal.

Les démonstrations expérimentales de Claude Bernard ont la clarté et la rigueur de celles des sciences physiques et chimiques. La viande est un aliment qui par les procédés digestifs connus ne peut donner naissance à du sucre. Or, Bernard a nourri pendant un temps plus ou moins long des animaux carnivores exclusivement avec de la viande, et il a constaté, avec une grande exactitude et avec la connaissance précise des moyens les plus parfaits que la Chimie mettait à son service, que le sang qui arrive dans le foie par la *veine porte* et qui y verse les matériaux nutritifs élaborés et rendus solubles par la digestion, que ce sang est absolument privé de sucre, tandis que celui qui sort de l'organe par les veines sus-hépatiques en est toujours abondamment pourvu.

De telles preuves, et bien d'autres non moins certaines que je passe sous silence, ne laissent rien à désirer, si l'on remarque en outre que Bernard a établi que, dans les conditions expérimentales susdites, la production du sucre est entièrement localisée dans le foie et que pas un seul autre organe ou tissu du corps n'offre la moindre quantité de matière sucrée.

Puisque les données de la Science portaient à croire que le règne végétal était seul capable de produire une matière de la nature des sucres, et que les principes immédiats, en général, qui se rencontrent dans le règne animal étaient formés exclusivement par les végétaux, chez lesquels les animaux ne faisaient que les puiser directement pour se les assimiler, comment Bernard a-t-il pu se placer en dehors

des idées reçues et arriver à la découverte de cette fonction glycogénique du foie? Il va nous l'apprendre lui-même, en nous confiant qu'il avait médité sur des choses bien connues, mais tout à fait inexplicables pour les théories reçues, dans cette maladie singulière désignée sous le nom de *diabète sucré*.

Cette affection bizarre se caractérise, comme on le sait, par une apparition surabondante de sucre dans l'organisme, au point que le sang en est surchargé, que tous les tissus en sont imprégnés et que les urines surtout en contiennent parfois des proportions énormes.

« Des circonstances que tous les médecins ont pu observer avaient éveillé mon attention. Quand la maladie est intense, la quantité de sucre expulsée par le diabétique est bien au-dessus de celle qui peut lui être fournie par les substances féculentes ou sucrées qui entrent dans son alimentation; en outre, la présence de la matière sucrée dans le sang et son expulsion par les urines ne sont jamais complètement arrêtées, alors même que l'on arrive à la suppression absolue des aliments féculents ou sucrés. »

Tels sont les faits qui ont conduit Claude Bernard à penser qu'il pouvait y avoir dans l'organisme animal des phénomènes encore inconnus aux chimistes et aux physiologistes, capables de produire du sucre en dehors de toute ingestion d'aliments féculents ou sucrés. « Ces faits, dit-il, devinrent dès lors pour moi un motif d'investigations physiologiques. »

Voilà bien l'inventeur dégagé de tout esprit de système et marchant à la recherche des découvertes imprévues, ainsi qu'il les nomme, comme il en a tant de fois vu surgir sous ses regards, découvertes qui, comme il le dit si bien lui-même, loin d'être des corollaires de théories, sont accomplies en dehors d'elles et leur sont contraires, d'autant plus rares que les sciences sont mieux constituées, d'autant plus fréquentes qu'elles le sont moins. « Or, en Physiologie, les théories sont tellement défectueuses, qu'il y a autant de probabilités pour découvrir des faits qui les renversent qu'il y en a pour en trouver qui les appuient. »

La Médecine et la Physiologie se tiennent par des liens si étroits, qu'il est rare qu'une découverte dans cette dernière science n'apporte pas quelque lumière dans la première.

Ainsi, le diabète sucré ne doit plus être considéré aujourd'hui que comme le trouble d'une fonction physiologique, et, comme celle-ci appartient au foie, l'affection diabétique doit être localisée dans cet organe ou mieux dans les parties du système nerveux qui sont capables d'agir sur lui, circonstance dont M. Claude Bernard a donné

des preuves saisissantes en déterminant par une lésion convenable de la moelle allongée cet état sucré des urines auquel il a donné le nom de *diabète artificiel.*

V

Les travaux de M. Cl. Bernard ont un mérite qui en rend la lecture éminemment instructive, particulièrement pour cette portion de la jeunesse studieuse qu'enflamme l'ambition du savoir et des découvertes de la Science : je veux parler du soin qu'il met à divulguer les idées par lesquelles il a été guidé dans ses recherches et dans ses procédés d'investigation. Ce mérite, que l'on ne trouve pas toujours en partage chez les inventeurs, M. Bernard le porte également au plus haut degré dans ses leçons du Collège de France. Il y porte surtout le grand art des recherches originales. Si cet établissement célèbre n'existait pas, ce n'est pas exagérer de dire que la méthode suivie par M. Claude Bernard pourrait donner l'idée de sa fondation. Il a défini lui-même en ces termes le principal caractère de l'enseignement scientifique du Collège de France, caractère dont M. Bernard ne s'est jamais départi dans ses leçons :

« Toujours placé au point de vue de l'exploration, le professeur du Collège de France doit considérer la Science, non dans ce qu'elle a d'acquis et d'établi, mais dans les lacunes qu'elle présente, pour tâcher de les combler par des recherches nouvelles. C'est donc aux questions les plus ardues et les plus obscures qu'il s'attaque de préférence, devant un auditoire déjà préparé à les aborder par des études antérieures.

« Dans les Facultés, au contraire, le professeur, placé au point de vue dogmatique, se propose de réunir dans un exposé synthétique l'ensemble des notions positives que possède la Science, en les rattachant au moyen de ces liens que l'on nomme des théories, destinées à dissimuler autant que possible les points obscurs ou controversés qui troubleraient sans profit l'esprit de l'élève qui débute.

« Ces deux genres d'enseignement sont, pour ainsi dire, opposés dos à dos. Le professeur de Faculté voit la Science dans son passé ; elle est pour lui comme parfaite dans le présent; il la vulgarise en exposant systématiquement son état actuel. Le professeur du Collège de France doit avoir les yeux tournés vers l'inconnu, vers l'avenir. »

VI

La méthode d'exposition adoptée par M. Claude Bernard, soit au Collège de France, soit dans ses Mémoires, l'habileté qui distingue ses combinaisons expérimentales, témoignaient depuis longtemps d'un esprit éminemment philosophique. Aussi voyons-nous, à mesure que les années et le travail incessant du laboratoire mûrissent les rares facultés de l'illustre physiologiste, apparaître et grandir dans ses ouvrages les principes des plus savantes méditations sur la méthode expérimentale, particulièrement applicable à la science de la vie.

L'ouvrage qu'il vient de publier, *Introduction à l'étude de la Médecine expérimentale* [1], exigerait un long commentaire pour être présenté au lecteur avec tout le respect que mérite ce beau travail, monument élevé à l'honneur de la méthode qui a constitué les sciences physiques et chimiques depuis Galilée et Newton, et que M. Bernard s'efforce d'introduire dans la Physiologie et dans la Pathologie. On n'a rien écrit de plus lumineux, de plus complet, de plus profond sur les vrais principes de l'art si difficile de l'expérimentation. Ce livre est à peine connu, parce qu'il est à une hauteur où peu de personnes peuvent atteindre aujourd'hui. L'influence qu'il exercera sur les sciences médicales, sur leur enseignement, leurs progrès, leur langage même, sera immense; on ne saurait la préciser dès à présent, mais la lecture de ce livre laisse une impression si forte, que l'on ne peut s'empêcher de penser qu'un esprit nouveau va bientôt animer ces belles études.

VII

J'ai parlé du savant : avec non moins d'éloges, j'aurais pu faire connaître la personne, l'homme de tous les jours, le confrère qui a su inspirer tant de solides amitiés, car je cherche dans M. Bernard le côté faible et je ne le trouve pas. La distinction de sa personne, la beauté noble de sa physionomie, empreinte d'une grande douceur, d'une bonté aimable, séduisent au premier abord; nul pédantisme, nul travers de savant, une simplicité antique, la conversation la plus naturelle, la plus éloignée de toute affectation, mais la plus nourrie d'idées justes et profondes : voilà quelques-uns des mérites extérieurs de M. Claude Bernard.

1. BERNARD (Claude). Introduction à l'étude de la médecine expérimentale. *Paris*, 1865, 400 p. in-8°. (*Note de l'Édition.*)

En terminant, il me vient un scrupule.

J'ai cédé peut-être à des sentiments d'une admiration trop vive. Non. Le lecteur en jugera par les deux traits suivants.

Un homme d'État interrogeait naguère au sujet de M. Bernard un de ses plus éminents confrères : « Ce n'est pas un grand physiologiste, » répondit celui-ci, « c'est la Physiologie elle-même [1]. »

Une maladie grave tient depuis plusieurs jours M. Bernard éloigné de Paris et de l'Académie. Le mal, dans tous ses symptômes alarmants, a cédé heureusement aux secours de l'art et aux soins de l'amitié. « Vous jugez bien que tout danger a disparu ? » disais-je il y a peu de jours au célèbre médecin [2] qui a donné une preuve si sûre de l'excellence de son jugement par l'affectueuse et vaillante estime dont il a toujours entouré M. Claude Bernard. « Oui », me répondit-il, « c'était nécessaire. » Belle et bonne parole, expression du cœur autant que de la raison.

Puisse la publicité donnée à ces sentiments intimes aller consoler l'illustre savant des loisirs obligés de la retraite, et lui dire avec quelle joie il sera accueilli à son retour par ses confrères et ses amis.

L. Pasteur.

Cet article alla droit au cœur de Bernard. Il m'écrivit à la date du 9 novembre :

Saint-Julien, 9 novembre 1866.

Mon cher ami,

J'ai reçu hier le *Moniteur* contenant le superbe article que vous avez écrit sur moi. Vos grands éloges sont certes bien faits pour m'enorgueillir; cependant je garde toujours le sentiment que je suis très loin du but que je voudrais atteindre. Si la santé me revient, comme j'aime maintenant à l'espérer, il me sera possible, je pense, de poursuivre mes travaux dans un ordre plus méthodique et avec des moyens plus complets de démonstration, qui indiqueront mieux l'idée générale vers laquelle converge l'ensemble de mes efforts. En attendant, c'est pour moi un bien précieux encouragement d'être approuvé et loué par un savant tel que vous. Vos travaux vous ont acquis un grand nom et vous ont placé au premier rang des expérimentateurs de notre temps. C'est vous dire que l'admiration que vous professez pour moi est bien partagée. En effet, nous devons être nés pour nous entendre et nous comprendre, puisque tous deux nous sommes animés de la même passion et des mêmes sentiments pour la vraie Science.

Je vous demande pardon de ne pas avoir répondu à votre première lettre : mais je n'étais pas en état de faire la Note que vous me demandiez.

1. M. Duruy et M. Dumas.
2. M. Rayer.

J'ai bien pris part à vos douleurs de famille. J'ai également passé par là et j'ai pu comprendre tout ce qu'a dû souffrir une âme délicate et tendre comme la vôtre.

J'ai l'intention de rentrer bientôt à Paris et de reprendre cet hiver mon cours, autant que je le pourrai. Comme vous le dites dans votre article, les symptômes graves paraissent avoir disparu, mais j'ai encore grand besoin de ménagements ; la moindre fatigue, le moindre écart de régime, me remettent sur le flanc. D'ailleurs j'ai reçu durant le cours de ma maladie tant de marques de sympathie et de haute bienveillance, tant de preuves d'estime et d'amitié, qu'il me semble que je suis engagé à ne rien négliger pour le rétablissement de ma santé, afin de pouvoir par la suite témoigner aux uns ma reconnaissance et mon dévouement, aux autres ma sincère affection.

Donc, à bientôt, j'espère; en attendant, votre dévoué et affectionné confrère,

CLAUDE BERNARD.

Le lendemain, 10 novembre, il adressa cette lettre à notre ami commun M. Henri Sainte-Claire Deville :

MON CHER AMI,

Vous n'êtes pas moins habile à inventer des surprises amicales qu'à faire de grandes découvertes scientifiques. C'est une idée charmante que vous avez eue, et dont je vous suis bien reconnaissant, que celle de me faire écrire par une commission d'amis. Je garde précieusement cette lettre, d'abord parce qu'elle exprime des sentiments qui me sont chers et ensuite parce que c'est une collection d'autographes d'hommes illustres qui doit passer à la postérité. Je vous prie d'être mon interprète auprès de nos amis et collègues, E. Renan, A. Maury, F. Ravaisson et Bellaguet. Dites-leur combien je suis touché de leur bon souvenir et de leurs félicitations sur mon rétablissement. Ce n'est malheureusement pas encore une guérison, mais au moins j'espère une bonne entrée en convalescence.

J'ai reçu l'article que Pasteur a fait sur moi dans le *Moniteur*. Cet article m'a paralysé les nerfs vaso-moteurs du sympathique et m'a fait rougir jusqu'au fond des yeux. J'en ai été tellement ébouriffé, que j'ai écrit à Pasteur je ne sais plus trop quoi ; mais je n'ai pas osé lui dire qu'il avait peut-être eu tort de trop exagérer mes mérites. Je sais qu'il pense ce qu'il a écrit, et je suis heureux et fier de son jugement, parce qu'il est celui d'un savant de premier ordre et d'un expérimentateur hors ligne. Néanmoins je ne puis m'empêcher de penser qu'il m'a vu à travers le prisme des sentiments que lui dicte son excellent cœur, et je ne mérite pas un tel excès de louanges. Je suis on ne peut plus heureux de tous ces témoignages d'estime et d'amitié qui m'arrivent. Cela me rattache à la vie et me montre que je serais bien bête de ne pas me soigner pour continuer à vivre au milieu de ceux qui m'aiment et à qui je rends bien la pareille pour tout le bonheur qu'ils me causent. J'ai l'intention de rentrer à Paris

d'ici à la fin du mois, et, malgré votre bon conseil, j'aurais envie de reprendre tout doucement mon cours au Collège cet hiver. J'espère qu'on m'accordera de ne commencer que dans le courant de janvier. Mais nous causerons de tout cela à Paris.

En attendant, votre ami tout dévoué et bien affectionné,

CLAUDE BERNARD.

Saint-Julien, samedi 10 novembre 1866.

Le 15 novembre, il m'écrivait de nouveau :

MON CHER AMI,

J'ai reçu de tous les côtés des compliments relativement à votre excellent article du *Moniteur*. Je suis donc très heureux et je dois vous en remercier, puisque vous m'avez fait un homme illustre de par votre autorité scientifique. J'ai hâte de reprendre mes travaux et de vous revoir, ainsi que tous mes amis de l'Académie : mais je désirerais que ma santé fût un peu plus affermie. Il fait beau temps ici ; c'est pourquoi je retarde ma rentrée à Paris de quelques jours.

Votre bien dévoué et affectionné confrère,

CLAUDE BERNARD.

Saint-Julien, 15 novembre 1866.

De nombreux témoignages de sympathie me furent adressés à l'occasion de cet article du *Moniteur*. Le suivant, par les sentiments qu'il exprime, mérite d'être conservé.

Sèvres, 9 novembre 1866.

MON CHER CONFRÈRE,

J'ai reçu l'excellent article sur Bernard que vous m'avez fait l'amitié de m'envoyer et je l'ai lu avec grand plaisir. Le public y apprendra avec bien d'autres choses que les membres éminents de l'Académie s'estiment, s'admirent et s'aiment quelquefois sans aucune jalousie. C'était chose rare au siècle dernier, et, si tous suivaient votre exemple, nous aurions sur nos prédécesseurs une supériorité qui en vaut bien une autre.

Croyez-moi votre très sincèrement dévoué et affectionné,

J. BERTRAND.

Nous sommes restés, Claude Bernard et moi, jusqu'à la fin de sa vie, dans les termes qu'on peut inférer des circonstances que je viens de faire connaître : lui, bienveillant et affectueux en toute occasion, moi, plein de respect et de déférence pour sa personne, d'admiration pour ses travaux.

EXAMEN CRITIQUE D'UN ÉCRIT POSTHUME DE CLAUDE BERNARD SUR LA FERMENTATION

Le 20 juillet 1878, la *Revue scientifique* publia, par les soins de M. Berthelot, un manuscrit sur la fermentation [1], trouvé dans le tiroir d'un meuble de la chambre à coucher de Claude Bernard, après sa mort.

L'illustre physiologiste n'avait chargé personne de mettre ce travail au jour, et M. Berthelot, que je suis loin de blâmer de cette publication, quoique, suivant moi, il eût fallu la faire dans d'autres conditions, nous apprend même que ce manuscrit était « soigneusement caché ».

Voici l'article de la *Revue*, avec le préambule de M. Berthelot. Le texte que je donne a été collationné sur l'original. Il diffère sensiblement sur plusieurs points de l'édition de la *Revue*. Je mentionnerai, dans des indications placées au bas des pages, quelques-unes des additions et des suppressions du texte imprimé. Les signaler toutes serait fastidieux, tant on a apporté peu de soin dans la correction des épreuves. Il importe cependant beaucoup que ces Notes apparaissent au lecteur avec leurs principales imperfections et comme si le manuscrit original était sous les yeux. L'importance même qu'on peut leur attribuer exige qu'elles soient reproduites avec une exactitude rigoureuse.

Lorsque Claude Bernard fut enlevé à la Science, son génie était dans toute sa force et son esprit d'invention n'avait souffert aucune diminution. Il avait entrepris, depuis quelques mois, une nouvelle série de recherches sur *la fermentation alcoolique*, et il annonçait à ses amis et à ses élèves qu'il croyait avoir fait des découvertes susceptibles de modifier profondément les théories régnantes. Malheureusement la mort l'a surpris avant

1. Bernard (Claude). La fermentation alcoolique. Dernières expériences de Claude Bernard (publiées par M. Berthelot). *Revue scientifique*, 2e sér., XV, 1878, p. 49-56. (*Note de l'Édition.*)

qu'il ait pu donner son secret; quand il en eut la pensée, il était déjà trop tard : « Cela est dans ma tête », disait-il à M. d'Arsonval, son dévoué préparateur, qui a entouré ses derniers moments des soins les plus affectueux, « cela est dans ma tête, mais je suis trop fatigué pour vous l'expliquer ».

Claude Bernard n'avait pas l'habitude d'écrire le détail de ses expériences avant d'être parvenu à des résultats définitifs. Aussi tout portait ses amis à regarder ses dernières découvertes comme complètement perdues, lorsque M. d'Arsonval retrouva dans un coin, soigneusement caché, le cahier de Notes qui suit et qui est entièrement autographe.

Ce sont des Notes de laboratoire relatant sous une forme sommaire les essais que Claude Bernard avait exécutés en octobre 1877, dans sa propriété de Saint-Julien, près de Villefranche, à l'époque des vendanges. Les résultats en sont présentés d'une façon trop abrégée pour constituer une démonstration rigoureuse, pas plus que ne le sont en général les Notes des inventeurs, une portion de leurs vues et de leurs travaux, souvent la plus décisive, demeurant réservée dans leur esprit jusqu'au jour de la rédaction finale. Ces brèves indications offrent un intérêt spécial, parce qu'elles sont accompagnées de ces réflexions personnelles que tout savant original s'adresse à lui-même, à titre de commentaire provisoire de ses observations présentes.

Claude Bernard avait poursuivi ses expériences au Collège de France pendant les mois de novembre et décembre; mais aucune Note relative à ces dernières recherches n'a pu être retrouvée.

Tout ce que nous savons, c'est que ses déclarations, quelques jours avant sa mort, étaient tout à fait conformes aux affirmations générales des Notes de Saint-Julien.

Dans cet état de choses, plusieurs amis et élèves de Claude Bernard ont pensé qu'il y avait intérêt pour la Science à conserver la trace des dernières préoccupations de ce grand esprit, quelque incomplète qu'elle nous ait été laissée. On y verra comment il entendait attaquer le problème et par quelles voies il espérait en atteindre la solution.

Tel est le préambule dont M. Berthelot a fait précéder les Notes suivantes de Claude Bernard dans la *Revue scientifique* du 20 juillet 1878.

I [1]

1° Jus de raisin; levûre pourrie de bière; pancréas qui pourrit, etc.;
2° Faire sécher lie ferment de vin;

1. Les chiffres romains inscrits en tête des Notes ont été placés par moi pour la commodité de la désignation de celles-ci. Ils ne figurent pas dans le manuscrit de Bernard.

Le manuscrit ne porte pas en tête, comme l'indique la *Revue*, le titre de *Notes diverses.*

Tout le premier paragraphe, depuis ces mots 1° *Jus de raisin*... jusqu'aux derniers *curieux à suivre*, commence sur le verso d'une feuille qui porte à son recto : Expériences. *Saint-Julien* 1877. Ce paragraphe est donc bien, quoique sans date, de la date même des expériences qui vont du 1er au 20 octobre 1877.

3° Raisins confits gonflés dans l'eau le jus ne fermente pas si la pellicule n'est pas rompue; raisins pourris secs;

4° Ajouter eau à raisins pourris;

5° Filtrer jus sur le résidu sur le marc de raisins pourris, cela fera-t-il du jus vieux raisin pourri avec jus récent non pourri;

6° Formation d'alcool indépendamment de cellules.

Expérience (1).

A. Raisins pourris exprimés ou non ajoutés à liquide pur.

B. Mélange de jus pourri avec jus récent non pourri.

Y aura-t-il alcool sans ferment?

Le ferment soluble serait-il dans le raisin pourri?

Dans le jus (2) récent les germes se forment.

Dans le jus pourri la force plastique serait morte (3), mais le ferment soluble existerait; se formera-t-il de l'alcool sous cette influence?

7° Jus de poires (4) pourri mêlé à jus de raisin récent fermentera-t-il?

Le jus de poires est-il comme (5) le jus de raisin pourri?

En ajoutant très peu de matière azotée, elle s'épuise et ne fermente plus.

Dans le jus de fruits pourris où la faculté plasmatique est tuée, l'alcool augmentera-t-il? Les priver d'alcool par dessiccation ou par le vide puis réajouter de l'eau et voir si l'alcool se formera? Bonne expérience (6).

Le jus raisin pourri, quoique sucré, ne fermente pas, *y ajouter ferment*, il fermentera. — *Oui*.

Pourquoi ferment ne se forme-t-il pas.

Ajouter liquide pourri (7) albumineux levûre pourrie à jus récent, produira-t-il alcool par pourriture sans levûre. Ce sera le ferment alcoolique soluble (8).

Les jus de poires, de pommes pourries ne donneront pas de levûre; les jus de poires fraîches en donneront, c'est comme le raisin.

Pourquoi?

Ajouter du sucre glucose au jus de poires pourries ou raisin pourri, se formera-t-il levûre?

Tout cela est curieux à suivre.

1. La *Revue* écrit *exemples*.
2. La *Revue* écrit *raison*.
3. La *Revue* écrit *tuée*.
4. La *Revue* écrit *raisin*.
5. Le mot *comme* n'est pas dans le manuscrit.
6. Ces mots *bonne expérience* n'ont pas été reproduits par la *Revue*.
7. Le mot *pourri* est supprimé par la *Revue*, ainsi que les mots *levure pourrie* dans la même phrase.
8. A la suite de cet alinéa, la *Revue* a supprimé les phrases suivantes, où se trouvent en effet un mot illisible et un membre de phrase inachevé :

« Le ferment pourri laissé à l'air avec les grappes se forme levûre. Pourquoi pas dans le liquide. — Est-ce parce qu'il y a (mot illisible) d'alcool dans le jus pourri? Non. — Suivre ce fait curieux de la non-fermentation ou plutôt suivre formation de levûre dans verjus et dans (phrase non achevée). »

II

Saint-Julien, 1er octobre 1877 (1).

Expérience sur la recherche des germes de levûre sur les grappes de raisin.

Je prends des grappes de raisin mûr, je les lave dans de l'eau claire de la serre, eau venant des toits, avec un pinceau de blaireau comme l'indique Pasteur. Il en résulte un liquide trouble. Examiné au microscope immédiatement, je ne découvre rien qui puisse ressembler à des germes ou à quelque chose d'organisé. Je ne vois que des corpuscules provenant de la poussière ou de parties terreuses qui se trouvaient à la surface de la grappe ou des grains de raisin.

Je traite de la même manière des grappes de raisin vert [aigrés (2)] et je n'y découvre immédiatement pas autre chose de (*sic*) corpuscules de poussières. En laissant ces eaux de lavage abandonnées à elles-mêmes dans ma chambre et en les examinant cinq ou six jours après, je constate à la surface de l'eau de lavage des raisins mûrs une pellicule formée d'infusoires monades vibrions avec d'autres infusoires plus gros. Au fond du verre, il y a un dépôt dans lequel on trouve des parties organisées, pouvant être plus ou moins analogues à ce qu'a figuré Pasteur dans son ouvrage.

Mais ces productions (3) n'ont eu lieu que postérieurement au lavage des raisins et sont le fait d'une production dans l'infusion, où il y avait peut-être un peu de jus de raisin ou des parties organisées ; car en frottant avec le pinceau quelques grains de raisin s'étaient détachés.

Dans l'infusion de verjus, il y avait beaucoup d'infusoires également, mais je n'y ai pas vu de ces végétations organisées.

On refait l'expérience en prenant tous les soins nécessaires pour ne pas détacher de grains de raisin.

1. Près de ce titre, en marge, et avec *renvoi* indiqué, il y a ces mots : « Il faudrait prendre de l'eau distillée ou de l'eau de pluie pure. » Le *renvoi* correspond aux mots *eau venant des toits* qu'on trouve dans le texte de la Note.

Enfin, il y a en marge de ce premier paragraphe un programme de son Cours de l'an prochain, dit-il; mais ce programme est difficile à lire en quelques endroits. La *Revue* l'a entièrement supprimé. Il y est question de la respiration; beaucoup de mots sont illisibles. Voici les dernières lignes : « Conception des organismes. Commencer par respiration — conflit — puis à propos de nutrition parler des fermentations et de la génération et de l'innervation. »

2. La *Revue* écrit toujours ce mot comme *aigris* ou *aigres*. C'est *aigrés*, terme de localité, que porte le manuscrit.

3. La *Revue* écrit *produits*.

III

Saint-Julien, 7 octobre 1877. (Exp. n° 4.)

Expérience sur la formation de l'alcool dans le jus de raisin sans ferment.

Le 7 octobre, je prends des raisins blancs pas très mûrs, je les presse immédiatement pour en extraire le jus, que j'examine aussitôt à l'alcooscope. Il n'y a pas sensiblement d'alcool, pas même de stries plates. — Je jette une autre partie du liquide sur un filtre — le liquide filtre en moins d'une heure, dans une chambre où la température est à moins de 10°. Je sépare aussitôt une partie du liquide des parties organiques en suspension qui ont passé à travers le linge, de sorte que cette partie est soustraite à l'action des cellules ou des débris de cellules végétales — je laisse filtrer le reste du liquide.

Le 9 octobre, tous les liquides étant restés dans la chambre à la température de 9 à 10°, j'examine comparativement le liquide filtré le premier — il y a des cristaux formés au fond du verre — avec le liquide filtré le dernier. Les deux liquides donnent les indices à l'alcooscope; mais il semblerait que le liquide filtré le dernier, c'est-à-dire resté en contact avec les débris de cellules sur le filtre, contient plus d'alcool, ce qui établirait que l'alcool ne se produit que sous l'influence des cellules ou débris de cellules et non d'un ferment soluble. Il est très important de décider si ce fait est exact ou non pour répondre à la théorie de Pasteur et juger si elle est fausse ou vraie.

Il faudrait un certain degré de maturité ou un certain temps de contact des cellules mises à l'air pour que le ferment soluble (produit d'altération) se formât.

Une autre partie de liquide (jus) filtré le second c'est-à-dire séparé après trois ou quatre heures de filtration donne autant d'alcool que le liquide filtré le dernier.

De sorte qu'en somme l'expérience est douteuse; il faut la recommencer avec des raisins plus moins (*sic*) et moins mûrs pour voir l'influence de la maturité et des diverses conditions de cette expérience importante.

Je dois ajouter que tous les liquides filtrés n'avaient pas la moindre trace de trouble; il n'y avait pas la moindre trace de ferment formé; il y avait seulement des cristaux déposés au fond des vases.

Conclusions. — Cette expérience démontre que le jus primitivement exempt d'alcool en a formé en dehors de tout contact de cellules; seulement il reste à décider si la prolongation du contact avec les débris de cellules augmente la quantité d'alcool, sans que pour cela il y ait formation de cellules de levûre.

(*Voir* expérience n° 6.)

IV

Saint-Julien, 8 octobre 1877.

Expériences sur les raisins sains et pourris.

Sur une treille (celle de la terrasse), j'ai recueilli sur les mêmes raisins :

1° Des grains sains mûrs ;

2° Des grains pourris humides ;

3° Des grains pourris desséchés (1).

A. — Je broie les grains et je les examine instantanément, sans filtrer, à l'alcooscope. Il y a des traces douteuses d'alcool. Stries plates (2).

Je laisse abandonnée à elle-même une partie du même jus qui sera ultérieurement examinée.

B. — Je broie les raisins pourris et j'examine instantanément à l'alcooscope, ils donnent des flots d'alcool. Grosses stries, grosses gouttelettes, avec inflammation légère à l'extrémité du tube (3).

C. — Je broie les grains pourris secs et j'exprime dans un linge, j'examine aussitôt à l'alcooscope et je constate l'existence d'alcool en quantité, mais pas (4) autant que dans les raisins pourris frais, sans doute parce que le liquide est étendu d'eau.

Je laisse macérer encore les grains dans l'eau pour voir si l'alcool augmentera.

Conclusions. — Sur le même raisin, les grains pourris frais ou secs contiennent beaucoup d'alcool, les grains sains n'en renfermant pas sensiblement.

Le 10 octobre, j'examine à l'alcooscope la partie du jus sain que j'avais laissée abandonnée à elle-même, mais à une température basse de 5 à 8°. La quantité d'alcool semble être un peu plus marquée, mais est bien loin d'être aussi grande que dans le jus de raisin pourri. Cela tient (5) à ce que la température était trop basse. — Refaire l'expérience en soumettant le jus à une température plus élevée et basse comparativement.

J'ai répété une autre fois l'expérience. J'ai examiné immédiatement à l'alcooscope le jus de grains de raisins pourris, et j'ai trouvé incomparablement plus d'alcool que dans les grains de raisins sains.

1. Cette année pluvieuse a déterminé la pourriture du raisin; mais depuis quelque temps il a fait sec et un grand vent du nord a régné, ce qui a arrêté la pourriture et desséché en partie celle qui était antérieurement opérée.

Cette dernière phrase est bien en note dans le manuscrit. La *Revue* la place dans le texte.

2. Ces mots *stries plates* sont supprimés dans la *Revue*.

3. Toute cette dernière phrase est supprimée dans la *Revue*.

4. Le mot *pas* est supprimé dans la *Revue*.

5. La *Revue* écrit : « Cela tient *sans doute* ». Ces derniers mots ne sont pas dans le manuscrit.

V

Saint-Julien, 8 octobre 1877. (Exp. n° 5.)

Expériences sur les raisins confits. — Recherche d'un ferment alcoolique soluble.

Je broie des raisins confits avec de l'eau.

Une partie du jus sans filtrer est examinée immédiatement à l'alcooscope : il y a des traces douteuses d'alcool. Une autre partie du liquide est jetée sur le filtre.

Le 9 octobre, j'examine une partie du liquide filtré resté à la température basse chambre à moins de 10° (1). Il n'y a que des traces douteuses d'alcool comme la veille.

J'examine du liquide qui était au contact avec les raisins à température au-dessous de 10° (2). Il n'y a pas sensiblement d'alcool.

Autre expérience. — Le 11 octobre, raisins confits broyés avec de l'eau et laissés macérer pendant deux ou trois heures à température basse [moins 10° (3)].

Ensuite on exprime dans un linge. — Une partie du liquide trouble est essayée immédiatement à l'alcooscope, traces très douteuses d'alcool, — l'autre partie du liquide est réservée et placée sur la cheminée de la cuisine, ainsi que les grains de raisins confits broyés et exprimés auxquels on ajoute de l'eau.

Fig. 1.

Le 13 octobre, il paraît y avoir à l'alcooscope sensiblement plus d'alcool que dans le *témoin* bouilli immédiatement. On laisse l'expérience continuer.

Le 15 octobre, j'examine de nouveau à l'alcooscope, il y a beaucoup d'alcool formé; mais je constate au microscope qu'il y a des grains de ferment dans le liquide; — je mets ce liquide contenant des grains de ferment (4) à l'étuve dans un tube à fermentation (5), deux jours après, il y a formation de gaz en grande quantité, fermentation active; donc il y a ferment constaté par ce moyen qui est excellent (6).

1. La *Revue* écrit *à la température de* 10 *degrés environ.*
2. La *Revue* écrit *à la même température.*
3. La *Revue* écrit *à* + 10°.
4. La *Revue* supprime ces mots : *contenant des grains de ferment.*
5. La *Revue* ne reproduit pas la figure, qui a été prise photographiquement sur le manuscrit, comme toutes les autres.
6. Le manuscrit termine la note V par les lignes suivantes, que la *Revue* supprime :

Faire gonfler dans de l'eau des raisins confits. Aura-t-on un jus analogue à celui du raisin pourri.

Au verso du feuillet le manuscrit porte en outre : *mettre jus de raisin dans un œuf comme un grain de raisin et sa pellicule air filtré.* Suit un dessin informe avec cette légende : *Un appareil avec coton à filtrer au soleil.*

VI

Saint Julien, 11 octobre 1877. (Expér. n° 5 *bis*.)

Expérience avec des raisins pourris, desséchés sur le cep.

Je broie avec de l'eau les grains de raisin pourri mais secs, et je laisse macérer deux à trois heures à une température basse moins 10° (1). Puis j'exprime dans un linge. Une partie du jus trouble est aussitôt bouillie; traces évidentes d'alcool. Une autre partie est mise sur la cheminée de la cuisine et conservée pour être examinée ultérieurement, ainsi que de la pulpe de raisins confits exprimée, à laquelle on a réajouté de l'eau.

Le 13 octobre. Il ne semble pas y avoir à l'alcooscope plus d'alcool que dans le *témoin*. Le ferment alcoolique ne semblerait donc pas exister dans les raisins pourris secs.

Le 15 octobre. Je constate à l'alcooscope beaucoup d'alcool formé dans le liquide, mais il y a également des grains de ferment que l'on constate au microscope. Je place de ce liquide renfermant des grains de ferment (2) dans un tube à fermentation (3), deux jours après il y a fermentation et formation de gaz qui remplit le tube. Donc il y avait du ferment, c'est un bon moyen de le constater, plus sûr que le microscope dans ces conditions.

Mettre des raisins pourris secs dans de l'eau sans les broyer — les faire gonfler seulement (4). Leur jus exprimé sera alors plus concentré — et séparera-t-on un ferment?

VII

Saint-Julien, 10 octobre 1877.

Fermentation alcoolique. — Raisins blancs très mûrs.

Le 10 octobre 1877 (5), je prends des raisins blancs de treille très mûrs, très dorés; je les broie et examine immédiatement, sans filtrer le liquide, à l'alcooscope (il semblerait y avoir des traces plus nettes pour les raisins très mûrs); je filtre le reste du liquide dans la chambre à température basse [moins 10° (6)].

1. La *Revue* écrit *à la température de* + 10°.
2. La *Revue* supprime ces mots : *renfermant des grains de ferment*.
3. Il y a en marge dans le manuscrit le dessin de la figure 1. La *Revue* ne le reproduit pas.
4. La *Revue* écrit *lentement* au lieu de *seulement*.
5. Ces mots *le* 10 *octobre* 1877 ne sont pas dans le texte de la *Revue*.
6. La *Revue* supprime le mot *moins*.

Le 14 octobre, le liquide filtré est resté parfaitement limpide. Je l'examine à l'alcooscope, il contient des traces évidentes d'alcool, mais pas plus considérables que le liquide examiné immédiatement qui est de nouveau comparé avec le liquide filtré.

Alors je mélange une partie du liquide, jus venant d'être bouilli avec du jus non bouilli, très limpides tous deux. Il en résulte une élévation de température, et je mets ces liquides sur le poêle de ma chambre à une température de 30°; je laisse le liquide dans une soucoupe en verre, de manière à ce qu'une large surface soit à l'air et au contact du poêle.

J'examine à l'alcooscope le liquide après quatre heures de cette exposition à la chaleur, le liquide n'ayant pas perdu sa transparence; je constate que l'alcool n'a pas augmenté dans le liquide.

Conclusion. — Le liquide n'était pas assez ancien, et n'avait pas acquis encore le degré d'altération nécessaire pour donner naissance à l'alcool et à la levûre qui se fait d'une manière en quelque sorte simultanée [1].

Quand le liquide est ancien et conservé à une température trop basse pour que le ferment se fasse, alors une élévation de température l'amène plus rapidement; ce qui revient à dire que le degré d'altération nécessaire à ce résultat est plus vite atteint.

VIII

Saint-Julien, 10 octobre. (Expér. n° 6.)

Expériences sur la fermentation alcoolique. — Recherche d'un ferment soluble alcoolique. — Le jus de raisin forme-t-il de l'alcool indépendamment de la levûre de vin [2].

Le 10 octobre, j'exprime dans un linge clair des grains de raisin noir à peu près mûrs (quoiqu'il y ait quelques grains encore rouges et non noirs), conservés dans le fruitier depuis huit jours.

J'examine aussitôt le jus non filtré à l'alcooscope, et je constate des traces très douteuses d'alcool. Stries plates mais pas de gouttelettes [3]. Je conserve ce liquide qu'on filtre après ébullition : c'est le jus n° 0; ce jus est filtré, coloré en rose, tandis que le jus non bouilli est légèrement citrin; cela est dû à l'influence de l'ébullition sur la matière colorante du raisin.

La plus grande partie du jus est filtrée à température basse moins 10° [4]. Comme la filtration se fait lentement, je sépare le jus passé dans les deux ou trois premières heures : c'est le jus n° 1. Le reste du jus filtre, et sa filtration dure vingt-quatre à trente-six heures : c'est le jus n° 2. Enfin une partie du jus n'est pas filtrée et est laissée en contact avec les

1. La *Revue* écrit : « Le liquide *n'étant* pas assez ancien, *il* n'avait... »
2. La *Revue* écrit *bière* au lieu de *vin*.
3. Ces derniers mots sont supprimés par la *Revue*.
4. La *Revue* supprime les mots *température basse moins*.

débris de cellules qui ont passé à travers le linge au moment de l'expression des grains de raisin : c'est le jus n° 3.

Jus n° 0. — Il est laissé à filtrer à basse température [moins 10° (1)].

Jus n° 1. — Est divisé en plusieurs parties.

A. — Une première partie est laissée dans la chambre à basse température [moins 10° (2)].

B. — Une autre partie est placée dans ma chambre à 15 ou 18°.

C. — Une troisième partie, laissée d'abord dans la chambre à basse température (3), est portée ensuite au soleil et passe les nuits dehors.

D. — Une quatrième partie est placée dans l'étuve oscillant de 15 à 25°.

Jus n° 2. — Est laissé dans la chambre à basse température [moins 10° (4)].

Jus n° 3. — Est également laissé dans la chambre à basse température.

Le 12 octobre. — Tous les jus sont parfaitement limpides, aucun trouble, aucune trace de formation de ferment n'a eu lieu dans aucun d'eux.

Cette année 1877, les fermentations vineuses sont très lentes à se manifester, les cuves restent dix et douze jours avant d'être tirées.

Le 13 octobre. — Le jus conservé dans ma chambre est devenu trouble, renferme un commencement de ferment du vin, et donne énormément d'alcool à l'alcooscope. Les autres liquides conservés dans la chambre à basse température moins 10° (5) sont parfaitement limpides et ne renferment pas, à l'alcooscope, sensiblement plus d'alcool que le premier jour, pas plus le liquide n° 0, n° 2, que dans le liquide n° 2 que dans le liquide n° 3 (6).

Il est donc nécessaire de placer les jus dans une température plus élevée, alors je mets sur mon poêle de faïence, à une douce chaleur, du liquide n° 1, n° 2 et n° 3.

Le liquide n° 3 qui était dans le fond d'une bouteille et chauffait par une large surface devient, après trois à quatre heures, un peu moins clair ; j'attends encore une heure et j'examine à l'alcooscope, il y a des flots d'alcool, mais au microscope je constate des globules de ferment quoique petits et rares. — L'alcool semble donc s'être formé subitement au moment où le liquide est devenu trouble et à un moment où les globules de levûre allaient se former.

Les liquides n° 2 et n° 1 qui étaient sur le poêle et étaient dans des verres, n'étaient pas devenus louches, et ne contenaient pas sensiblement plus d'alcool que la veille.

Conclusion. — Il semble y avoir un point où l'alcool se fait subitement. Suivre le phénomène dans d'autres expériences en soumettant le jus à des températures constantes et assez élevées. L'alcool et la levûre se formeraient-ils dans un milieu alcalin (7) ? Une autre conclusion est que la

1. La *Revue* écrit *a* + 10°.
2. La *Revue* écrit *a* + 10°.
3. La *Revue* ajoute + 10°.
4. La *Revue* écrit *Est laissé a* + 10°.
5. La *Revue* écrit *conservés a* + 10°.
6. La *Revue* a supprimé tout ce membre de phrase : *pas plus*, etc...
7. La *Revue* écrit *alcoolisé* au lieu de *alcalin*.

température a une influence considérable sur la formation de la levûre et de l'alcool ; en tenir compte dans les expériences ultérieures.

Le 14 octobre — J'examine le liquide C exposé au soleil ; il était devenu trouble et des bulles de gaz se dégageaient ; il y avait beaucoup d'alcool, et j'ai constaté au microscope que de la levûre s'était développée, mais beaucoup plus grosse que celle qui se forme à l'obscurité dans les étuves. Toutefois il ne semble pas y avoir plus d'alcool dans ce liquide que lorsque la levûre est chétive et en faible quantité.

IX

Saint-Julien, 11 octobre 1877. (Expér. n° 7.

Expériences sur la fermentation alcoolique. — Recherche d'un ferment alcoolique soluble. — Influence de l'altération (pourriture) sur la formation de l'alcool (1).

Le 11 octobre, je broie des grains de raisin pourris et bien pleins de jus. Ces grains sont recueillis dans le fruitier sur des raisins blancs, ramassés depuis huit à quinze jours pour les conserver.

J'examine immédiatement à l'alcooscope le jus exprimé et il renferme des flots d'alcool. Stries épaisses, grosses gouttelettes avec inflammation au haut du tube alcooscopique (2). Sur les grains sains des mêmes raisins il n'y a pas sensiblement d'alcool.

En examinant au microscope divers grains pourris dans le jus, après avoir enlevé la pellicule du grain pourri, ou en exprimant une goutte du liquide, je n'ai pas pu y constater de ferment alcoolique. Parfois j'ai vu des granulations réfringentes que j'ai observées autrefois (granulations protoplasmiques ?). — D'ailleurs j'ai fait une autre épreuve qui me paraît décisive pour montrer qu'il n'y a pas de ferment alcoolique et que l'alcool a été ici formé indépendamment de lui. J'ai pris de ce même jus de raisin pourri non filtré, simplement exprimé à travers un linge clair qui aurait laissé passer les globules de ferment avec beaucoup d'autres débris de cellules végétales. Je l'ai introduit dans deux tubes à fermentation *a* et *b* (voir fig. 1, p. 10*) que j'ai ensuite placés dans l'étuve à 20° (3). Dans le tube *a* il n'y avait que le jus de raisin pourri avec des débris de cellules, dans le tube *b* j'ai ajouté en outre un peu de glucose, quoique le jus de raisin contînt encore du sucre et réduisait abondamment. Les deux tubes contenant jus pourris étaient très nettement acides (4).

Le lendemain 12 octobre, aucune trace de fermentation n'a eu lieu dans les deux tubes *a* et *b*, ce qui serait infailliblement arrivé s'il y eût eu du

1. La *Revue* écrit *fermentation* de l'alcool.
2. La *Revue* a supprimé toute cette dernière phrase.
3. En marge, un dessin pareil à celui de la page 10 *.
4. La *Revue* supprime les mots *tubes contenant* et *pourris*.

* Page 503 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

ferment dans le jus de raisin pourri [1]. Pour avoir encore une contre-épreuve, j'ajoute un peu de ferment d'un tube en fermentation au tube *a* pour voir si la fermentation se développera dans ce tube et pas dans le tube *b*. En effet, la fermentation s'est bien développée dans ce tube *a* qui s'est rempli de gaz absorbable par KO [2], le tube *b* n'a pas du tout fermenté. Je prends le marc de raisin pourri exprimé, j'y ajoute de l'eau et je constate que cette eau renferme encore des traces évidentes d'alcool.

Dans deux verres je place comparativement de ce marc; dans un verre S je n'ajoute rien, dans l'autre S' j'ajoute une dissolution de glucose. On place les deux verres sur le rebord de la cheminée de la cuisine pour voir si, au contact de ces marcs, il se formera de l'alcool, sans ferment comme par un ferment soluble. Il s'est formé de l'alcool, mais il s'est produit du ferment de vin [3].

Le 12 octobre, je filtre le liquide exprimé des raisins pourris après avoir décanté la partie claire, citrine du liquide reposé depuis la veille dans la chambre à basse température moins 10° [4]. J'examinerai si ce qui restera sur le filtre jouera le rôle de ferment. Une autre partie du marc est laissée dans la chambre à basse température.

Le 13 octobre j'examine les deux verres S et S'; il ne paraît s'y être formé d'alcool ni dans l'un ni dans l'autre; mais, en attendant davantage, il s'en est formé en même temps que des grains de ferment.

13 octobre. — Je place du jus de raisin pourri très alcoolique dans un tube simplement bouché avec du papier, pour voir s'il s'y développera spontanément du ferment le tube X est placé dans l'étuve près du feu, oscillant de 15 à 25°. — Bientôt il se forme une moisissure à la surface, mais pas de fermentation. Le 20 octobre le jus commence à fermenter; il se dégage des bulles de gaz, mais pas de ferment; le liquide reste clair mais cette fermentation [5] qui continue serait-elle due à la moisissure qui s'est faite à la surface? On le croirait, car un autre tube bouché dans lequel il ne s'est pas fait de moisissure il n'y a pas eu fermentation.

J'ai dit qu'au moment où on exprime le jus des raisins pourris il n'y a pas de ferment dans ce jus, mais en laissant ce liquide en contact avec le marc, il s'en est formé bientôt. Alors j'ai pris de ce jus que j'ai placé dans un tube à fermentation pour voir s'il fermentera maintenant tandis qu'il n'a pas fermenté au début [6]. La fermentation finit par arriver, mais très lentement et d'une façon douteuse. Il n'y a aucune comparaison à faire avec le jus de raisin frais.

1. Ces six derniers mots sont supprimés dans la *Revue*.
2. Au lieu de KO, la *Revue* écrit 12 *degrés*.
3. Ici le manuscrit figure quelques cellules de ferment.
4. La *Revue* écrit *à* + 10°.
5. La *Revue* écrit : .... *le liquide reste clair. Cette fermentation....*
6. La *Revue* écrit : .... *pour voir s'il fermentera. Maintenant qu'il n'a pas fermenté au début, la....*

X

Saint-Julien, 18 octobre 1877.

Observations sur la fermentescibilité différente du jus de raisins mûrs, du jus de verjus et du jus de raisins pourris.

1° Jus de raisin mûr. — Le jus de raisin mûr, noir ou blanc, fermente très vite. Le liquide filtré à basse température filtre lentement et devient parfaitement limpide; mais si on le porte à une température plus haute, bientôt il se trouve (*sic*) du ferment se forme et se dépose au fond, des bulles de gaz se dégagent, etc.

Quelquefois, dans les années chaudes, j'ai vu cette fermentation s'établir à la vigne même dans les bennes.

Le jus de raisins mûrs contient des traces évidentes d'alcool, il contient beaucoup de sucre réducteur. L'air est nécessaire pour que le jus de raisin fermente.

2° Jus de verjus. — Le jus de verjus (aigrés), filtré à basse température (moins 10°), filtre rapidement et devient parfaitement limpide.

Porté à une plus haute température, le jus reste toujours limpide, ne se trouble pas, ne dégage pas de gaz; seulement au bout de quelques jours il se forme des moisissures submergées ou à la surface du liquide qui reste parfaitement clair. Il ne se forme pas de ferment dans aucun cas.

Le jus de verjus ne renferme pas de traces évidentes d'alcool. Il renferme beaucoup de sucre réducteur.

Conclusion. — Le jus de verjus ne fermente pas alcooliquement, quoique exposé à l'air et à une température convenable.

Toutefois, il se forme des apparences de *ferment* dans le marc du jus exprimé qu'on laisse exposé à l'air s'altérer et pourrir sans y ajouter de l'eau.

Il s'y forme également de l'alcool, sans doute par la présence de ce ferment; cependant j'ai mis ce jus dans un tube et il n'a pas donné de gaz, n'a pas fermenté.

Donc le ferment n'a pas son *germe*, c'est-à-dire sa cause dans le jus, mais dans le marc, c'est-à-dire dans les grains de raisin vert.

3° Jus de raisins pourris. — Le jus de raisin pourri, filtré à basse température, filtre très lentement et devient parfaitement limpide. Porté ensuite à une température de fermentation, le liquide ne fermente pas et ne se trouble pas; il se forme à la surface des moisissures, mais non submergées; comme pour le verjus. Il ne se forme pas de ferment.

Ce liquide contient beaucoup d'alcool et beaucoup de sucre réducteur.

Conclusion. — Le jus de raisin pourri ne fermente pas alcooliquement, quoique exposé à l'air et à une température convenable.

Toutefois il se forme du ferment dans le marc de raisin pourri exposé à l'air (et auquel j'ai ajouté de l'eau); il s'y forme également de l'alcool sans doute par le ferment; le liquide de macération exprimé dans un linge

donne dans un tube à fermentation du gaz et fermente. Donc le germe du ferment dans le raisin pourri n'est pas dans le jus, mais dans le marc.

En laissant ces parties en suspension dans le jus exprimé, je n'ai pas vu de ferment se développer; faudrait-il en conclure que c'est dans la pellicule du raisin et non dans la partie intérieure que se trouverait la raison de la formation du ferment? Non.

En ajoutant du sucre glycose au jus de raisin pourri, il ne fermente pas davantage immédiatement.

En y ajoutant de l'eau mais à la longue il finit par fermenter ([1]).

J'ai vu en effet que du jus de raisin pourri finit par fermenter à l'étuve. Seulement il ne se forme que très peu de ferment quand on ajoute de l'eau au jus de raisin pourri il se forme plus de ferment et plus vite ([2]) et le liquide reste clair lorsque déjà il se dégage beaucoup de bulles de gaz.

Il faut remarquer ici que le jus de raisin pourri n'est pas pur car dans les grains de raisin pourri il y en a beaucoup qui sont encore à moitié sains. Refaire l'expérience avec des raisins pourris, bien pourris et bien purs.

XI

Saint-Julien, 14 octobre 1877.

Nécessité de l'accès de l'air pour que le ferment se produise ainsi que l'alcool.

J'ai introduit du jus récent de raisin bien clair, filtré à une basse température, dans des tubes bien hermétiquement bouchés, et aucune trace de fermentation ne s'est produite, malgré la température convenable à laquelle ils ont été placés, c'est-à-dire que le liquide a conservé sa transparence; il ne s'est pas formé d'alcool ni de levûre.

Première expérience ([3]). — Dans un tube mis à l'étuve pendant plus de quinze jours, il n'y a pas eu le moindre trouble dans le liquide. Débouché alors et examiné à l'alcooscope, il n'y avait pas plus d'alcool qu'au début de l'expérience (traces douteuses).

Deuxième expérience ([4]). *Coupe de l'éprouvette*. — Eprouvette bouchée avec caoutchouc traversé par un tube de verre dans lequel est une couche d'huile mince au-dessus du tube intérieur.

L'éprouvette est restée à l'étuve pendant une quinzaine de jours. D'abord il n'y a rien eu : le liquide est resté limpide, il ne s'est pas formé de gaz; mais, par suite de l'élévation de la température, la couche d'huile du tube

1. La *Revue* supprime ces mots : *en y ajoutant de l'eau*, ce qui dénature tout à fait le sens de la phrase et de l'expérience.

2. La *Revue* écrit : .... *par fermenter a l'etuve, seulement il ne se forme que tres peu de ferment. Quand on ajoute de l'eau au jus de raisin pourri, le ferment se forme plus vite et le liquide*....

3. La *Revue* ne reproduit pas la fig. 2.

4. La *Revue* ne reproduit pas la fig. 3.

Non seulement la *Revue* ne reproduit pas ces dessins, mais son texte est incomplet et peu clair, à cause de diverses suppressions.

intérieur a été expulsée, et la petite surface du jus de raisin restée au-dessous s'est trouvée exposée à l'air, et peu à peu il s'est formé un trouble



Fig. 2.

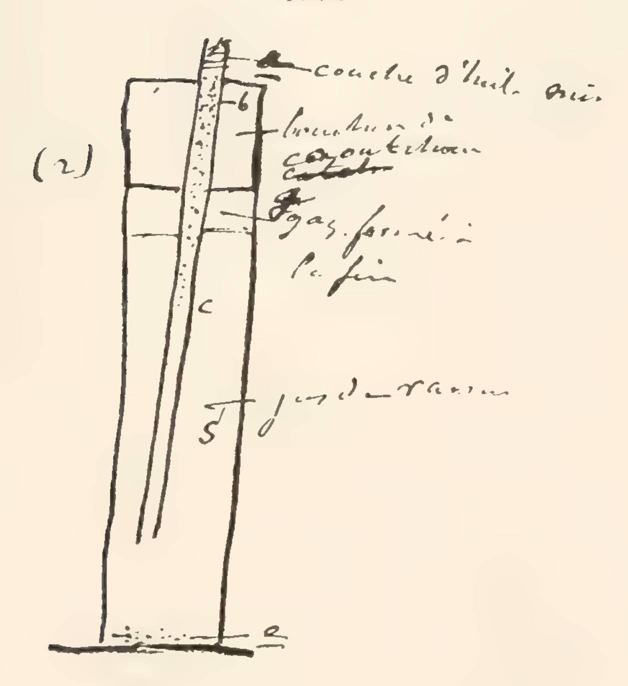


Fig. 3.

du liquide commençant par en haut et se propageant de *b* en *c* vers le bas. Puis un peu de trouble s'est produit dans le fond de l'éprouvette *e*, quoique

tout le reste du liquide S soit resté parfaitement limpide. Alors une petite quantité de gaz *g* s'est formée.

Quand j'ai débouché l'éprouvette, tout le trouble *ba* du tube intérieur s'est répandu dans le liquide de l'éprouvette et l'a troublé. Il a semblé ainsi qu'il s'est fait instantanément du ferment. Examiné à l'alcooscope, ce liquide renfermait des flots d'alcool : il y avait au microscope des globules de ferment.

Troisième expérience (1). — Ce tube est resté à l'étuve pendant une quinzaine de jours. D'abord il n'y a rien eu ; mais peu à peu, sans doute par la dilatation du liquide ce bouchon s'est soulevé et il y a eu un peu de gaz formé au-dessous du bouchon, quoique le liquide eût conservé sa transparence.

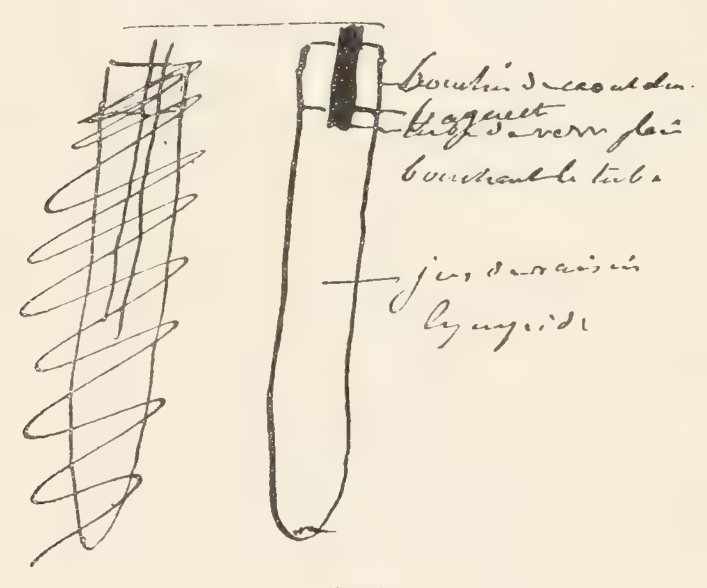


Fig. 4.

rence. Examiné à l'alcooscope, il y avait beaucoup d'alcool et à peine des traces douteuses de ferment dans le fond du tube.

Conclusion. — Quand le bouchage est bien hermétique, il n'y a jamais fermentation, mais pour peu qu'il y ait accès de l'air, le liquide se trouble, le trouble commençant par le point où a lieu le contact de l'air et s'étendant de proche en proche.

Pour avoir des tubes bien hermétiquement bouchés, il faudra les boucher bouchon de caoutchouc et baguette de verre (2) : le liquide étant à une température au moins aussi élevée que l'étuve, de sorte que jamais le liquide ne se dilatera pour faire sauter le bouchon ni expulser l'huile. D'ailleurs l'huile est un mauvais bouchon, à moins qu'il n'y en ait une couche d'une très grande épaisseur.

1. Dans le manuscrit, à la suite des mots 3e *expérience*, se trouve la fig. 4, que la *Revue* ne reproduit pas et remplace par une description.

2. Bernard dit en marge que *c'est là le meilleur moyen de boucher sans air.*

XII

Saint-Julien, 15 octobre 1877.

Projets d'expérience.

Dans l'expérience A le ferment commencera à se former en I. Quand l'ampoule R sera pleine de ferment, le jus J sera clair, sera-t-il alcoolique par un ferment soluble?

De même dans la deuxième expérience B, le diaphragme de papier ou

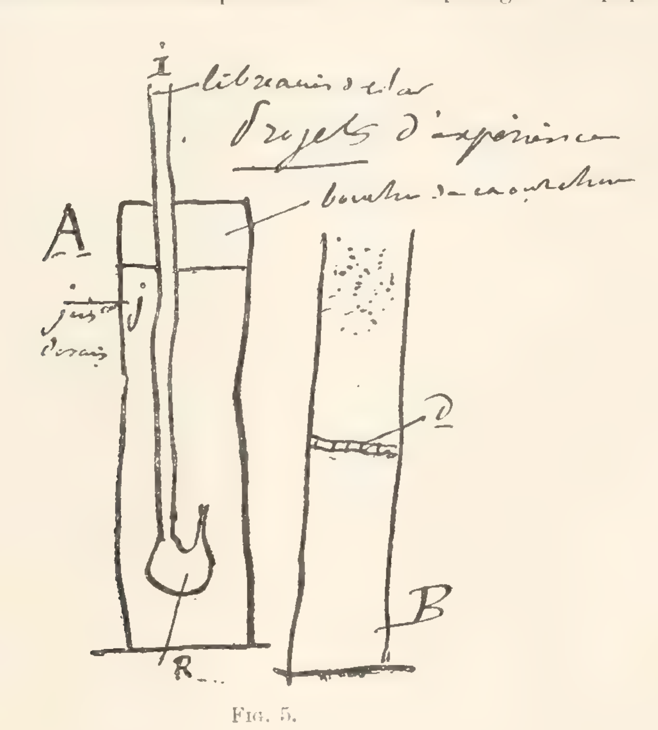


Fig. 5.

membrane de baudruche permettra-t-il que le jus inférieur devienne alcoolique par ferment soluble (1)?

XIII

Saint-Julien, 15 octobre 1877.

Fermentation dans sulfate de soude. — Éther.

Du jus de raisin fermente, l'alcool se forme et le ferment se produit dans une solution saturée de sulfate de soude.

1. En marge, dans le manuscrit, se trouve la fig. 5 que la *Revue* ne reproduit p

Chercher si, dans l'eau éthérée ou chloroformée, l'alcool se formera sans que le ferment se produise.

On pourra sans doute se débarrasser de l'éther en le laissant évaporer, quoiqu'il se perde beaucoup d'alcool par l'évaporation spontanée.

Réfléchir à faire des expériences dans ce sens.

XIV

Saint-Julien, 15 octobre 1877.

Verjus et raisins mûrs et très mûrs.

Dans le verjus il n'y a pas de traces sensibles d'alcool, et plus la maturité est avancée et plus il y a d'alcool, mais jamais à beaucoup près autant que dans les grains de raisin pourri.

Le jus de verjus n'a pas produit de ferment; dans plusieurs cas il se formait des sortes de touffes d'une sorte de mycoderme allongé filamenteux (*aspergillus*). Ces touffes se formaient dans le liquide et étaient submergées, puis à la surface, et alors il y avait une fructification comme dans le *penicillium*.

Il faudra étudier ces végétations spéciales, qui sont accompagnées de la formation d'alcool à flots comme dans le cas de formation de levûre [1].

Dans certains cas, j'ai vu se former du ferment comme dans le vin. Cela dépend d'une condition à déterminer, soit dans l'âge des aigrés ou ailleurs.

Il faudra voir dans des fruits verts, bien avant leur maturité, — voir si leur jus présente des différences de cet ordre dans la fermentation. Tout cela est à étudier, il suffit de citer ces faits pour en être convaincu.

XV

Saint-Julien, 15 octobre 1877.

Formation d'alcool sans levûre dans les raisins. — Action médiate de l'air. — Germes.

Dans les raisins bien mûrs, il y a normalement des traces d'alcool. Quand le raisin pourrit, ces traces d'alcool deviennent bien plus considérables sans qu'il se forme cependant de levûre. Quand on laisse le jus exprimé et séparé du grain de raisin s'altérer spontanément, les traces d'alcool deviennent à un moment brusquement beaucoup plus considérables, mais il se forme toujours de la levûre ; il m'a été jusqu'ici impossible d'éviter son apparition. D'après les expériences de Bellamy et Lechartier, il semblerait que la formation d'alcool par pourriture se fait en dehors du contact de l'air dans de l'acide carbonique. Toutefois cela n'est pas nécessaire, la

1. Les mots *à flots*, si essentiels, sont remplacés, dans le texte de la *Revue*, par ceux-ci : *et sont*.

pourriture ordinaire à l'air produit de même de l'alcool [1]. — En produit-elle autant? [*Voir* l'expérience à la poire vernie [2].]

Quand les grains de raisin pourri ont été écrasés et qu'ils pourrissent écrasés exposés à l'air, alors il y a toujours formation de levûre. — De même quand le jus de raisin filtré est exposé à l'air et qu'il fait chaud, il s'y forme très vite de l'alcool comme par la pourriture, mais avec formation de levûre.

Ce sont les germes, dit Pasteur, car l'air pur ne fait pas fermenter; c'est là une expérience nécessaire à tenter, en faisant passer un courant d'air filtré sur du coton à l'aide de la trompe.

Pasteur ne répond pas ou mal à l'objection de l'air formé par la pile dans l'expérience de Gay-Lussac [3]. Il admettrait qu'il y avait des germes qui sommeillaient [4].

En résumé, il s'agirait de pouvoir faire avec le jus de raisin séparé et filtré l'expérience de la pourriture, faire apparaître de l'alcool en grande quantité sans germes. — En conservant très longtemps du jus de raisin dans des tubes chauffés sans air ou avec CO^2, le liquide finira-t-il par s'altérer comme dans la pourriture en donnant de l'alcool sans levûre. En un mot, imiter le procédé de la pourriture dans le jus séparé, — mettre le jus de raisin dans une membrane, coquille d'œuf, etc., qui filtre l'air ou mon appareil qui filtre l'air [5].

Cela doit être possible, car il faut prouver que la formation de l'alcool est indépendante de la présence de toute cellule. C'est là derrière que Pasteur se retranche pour dire que la fermentation est *la vie sans air*, ce qui est faux puisque la pourriture [6] à l'air engendre l'alcool, sans que la cellule manque d'oxygène.

XVI

Saint-Julien, 15 octobre 1877.

Fermentation sous huile — sous pétrole [7].

Le 22 septembre 1877, je mets dans une bouteille plate A du jus de raisin blanc filtré, contenant des traces douteuses d'alcool. Je verse au-dessus du liquide une couche d'huile d'olive d'environ 2 centimètres. — Je place comparativement une autre bouteille plate B dans laquelle j'enferme du même jus de raisin, mais je ne bouche pas cette fiole avec de l'huile, je mets seulement un cornet de papier sur le goulot. Deux jours après, le liquide de la bouteille B se trouble et la fermentation commence.

1. Les mots *de même* sont supprimés par la *Revue*.
2. La *Revue* écrit *poire pourrie*, au lieu de *poire vernie*.
3. Au lieu de *formé par la pile*, la *Revue* écrit *fermé* et supprime les mots *par la pile*
4. Le manuscrit porte bien *il admettrait*. La *Revue* écrit *admettait*.
5. La *Revue* supprime les mots *coquille d'œuf*, etc... et ceux-ci : *qui filtre l'air*.
6. Au lieu de ces mots très significatifs : *ce qui est faux puisque*, la *Revue* écrit ce seul mot, *cependant*.
7. Ici le manuscrit porte les deux dessins de la fig. 6 que la *Revue* supprime.

Des bulles de gaz se dégagent et du ferment se dépose au fond de la bouteille.

Le liquide de la bouteille A reste toujours parfaitement limpide; les deux bouteilles étaient placées sur le rebord de la cheminée de la cuisine. Je laisse ainsi les deux bouteilles, et voici ce que j'observe : ce n'est que vers le dixième ou douzième jour que le liquide de la bouteille A commence à se troubler, des bulles de gaz se dégagent, la fermentation va très lentement et du ferment blanc superbe se dépose au fond de la bouteille.

Le 15 octobre, j'examine les liquides contenus dans les deux bouteilles. La fermentation s'est arrêtée, et est terminée depuis longtemps dans la

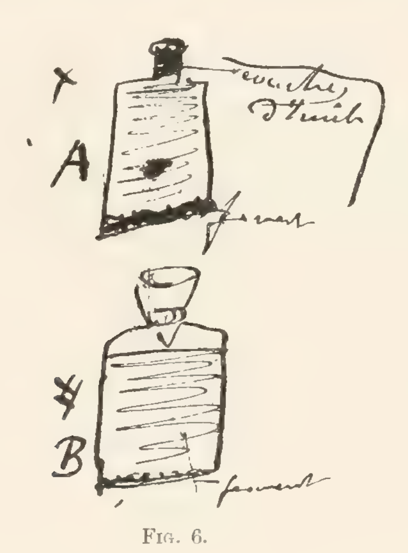


Fig. 6.

bouteille B; une petite couche grise [1] de ferment est déposée au fond de la bouteille.

Dans la bouteille A la fermentation continue toujours, des bulles de gaz se développent et montent vers l'huile. Une épaisse couche blanche de ferment s'est déposée au fond de la bouteille.

Examiné au microscope, le ferment de la bouteille B est petit, celui de la bouteille A est gros, superbe.

Examiné à l'alcooscope, le liquide de la bouteille B contient de l'alcool, mais infiniment moins que celui de la bouteille A qui en contient énormément. Sans doute que l'évaporation ne le fait pas perdre comme dans le cas où il n'y a pas d'huile.

Conclusion. — La fermentation sous l'huile est donc très magnifique. Répéter l'expérience (2).

Le 3 octobre, j'ai mis du jus de raisin rouge filtré, limpide, dans une bouteille plate C et j'ai versé au-dessus une couche d'un centilitre environ d'huile de pétrole.

1. La *Revue* écrit *épaisse* au lieu de *grise*.
2. Ici, en marge, le manuscrit porte la fig. 7 que la *Revue* supprime.

Pendant les premiers jours le liquide reste parfaitement limpide, ce n'est que vers le septième ou huitième jour qu'il se manifeste un très léger trouble, puis des bulles de gaz se dégagent. La bouteille est sur le rebord de la cheminée de la cuisine. Le 15 octobre, la fermentation n'est pas finie, elle continue assez activement mais il se forme très peu de ferment que je constate au microscope, l'alcooscope donne des quantités prodigieuses d'alcool.

Conclusion. — Étudier si par là on pourrait obtenir la formation d'alcool, sans ferment ou à peu près. — Se garder des causes d'erreur dues au pétrole qui peut tromper à l'alcooscope.

Le 16 octobre, j'ai examiné le lendemain le liquide des trois bouteilles A, B, C, et voici ce que j'ai constaté :

A l'alcooscope, le liquide de la bouteille A contient le plus d'alcool; quand on commence à chauffer, il y a des gouttelettes isolées qui se forment

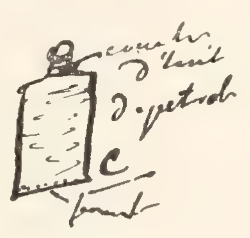


Fig. 7.

dans le tube alcooscopique, des stries huileuses sont visibles sur le col du ballon, puis sur le tube et montent en large nappe huileuse; avant que ces nappes soient parvenues au haut du tube, il y a inflammation de l'alcool au haut du tube, inflammation à longue flamme qui dure au moins une minute pendant l'ébullition.

Le liquide de la bouteille B contient moins d'alcool ; il y a également inflammation, mais qui dure moitié moins de temps pour une quantité égale de liquide en ébullition.

Le liquide de la bouteille C contient moins d'alcool que les deux autres; il y a une inflammation très passagère du haut du tube.

Ici il semble bien y avoir proportionnalité entre la quantité de ferment formé et la quantité d'alcool. La bouteille A contient le plus de ferment, après vient la bouteille B, puis la bouteille C.

Conclusion. — La fermentation sous l'huile arrive plus lentement, mais elle continue plus longtemps, forme plus d'alcool et plus de ferment. Il faudra étudier la fermentation dans ces conditions. Il est probable que c'est une fermentation plus pure, exempte de produits secondaires — lactique, succinique et autres [1].

20 octobre 1877.

J'ai séparé le ferment pur déposé au fond de la bouteille A. Je le conserve sec; on l'examinera ultérieurement.

(1) Ces mots *lactique, succinique et autres* sont supprimés dans la *Revue*.

XVII

Saint-Julien, 19 octobre 1877.

Jus de chou.

Antérieurement j'ai exprimé des feuilles vertes de chou hachées. J'ai constaté à l'alcooscope des traces nettes d'alcool.

J'ai ensuite ajouté de l'eau à ce hachis de choux crus et je l'ai examiné aujourd'hui, il renferme de l'alcool, mais il s'est formé des globules de ferment.

XVIII

Saint-Julien, octobre 1877.

Fermentation alcoolique. Formation du ferment du vin.

Lorsque le ferment commence à se produire, il est extrêmement petit, puis il grossit ; la quantité d'alcool augmente en proportion. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'au moment où apparaît le trouble du liquide avec des grains de ferment rares et petits, il y a beaucoup d'alcool, de sorte que l'alcool semble avoir précédé le ferment. La question serait d'empêcher le ferment d'apparaître et de permettre à l'alcool de se faire.

Pour cela il faudrait tuer la propriété protoplasmique du jus de raisin, propriété protoplasmique qui se développe au moment de l'altération du liquide.

Il m'a semblé que le ferment de vin produit à l'abri du contact libre de l'air dans le fond des tubes à fermentation, est moins gros que celui formé librement dans les cuves.

Du reste, toute l'étude morphologique de ces ferments devra être faite avec le plus grand soin (1).

Le ferment vinique qui existe à la fin des fermentations, au fond de la cuve et des tonneaux, est formé par des globules de levûre gros, arrondis, non soudés et de grandeurs différentes ; tandis que le ferment du haut des cuves ou celui des tubes qui commence à se former est plus petit, en chapelet d'inégale grosseur.

Il est évidemment en voie de formation (2).

J'ai constaté que le ferment qui est dans la lie de vin nouveau est très gros et arrondi. Il fermente très bien ; du sucre glucose ajouté, il y a bientôt fermentation très active.

Le ferment de la lie de vin examiné comparativement avec du ferment de la levûre de bière (*sic*).

1. La *Revue* écrit *doit* au lieu de *devra*.
2. Ici, dessins rapides de quelques cellules de ferment dans le manuscrit.

XIX

Ferment de la lie de vin.

J'ai constaté que le ferment de la lie de vin est plus gros que le ferment de la surface. Ce ferment, ajouté à du jus de fruits pourris, donne lieu rapidement à la fermentation.

XX

Saint-Julien, 20 octobre 1877.

La formation ou la non-formation de la levûre (ferment) sont indépendantes des germes de l'air.

Démonstration :

Quoique les jus soient tous à l'air, la levûre ne se forme que dans les jus où existe la formation protoplasmique ; elle n'a pas lieu dans les jeunes jus (verjus). Elle n'a plus lieu dans les jus pourris où la force plasmatique est tuée. (Cependant addition d'eau la détermine, — avoir des jus pourris bien purs.

Donc, si en ajoutant du ferment aux jus pourris, ils fermentent en formant de la levûre, cela prouve qu'ils étaient capables de produire de la levûre, s'ils avaient eu les germes protoplasmiques, et que ces germes sont dans le liquide et non dans l'air.

XXI

Saint-Julien, 20 octobre 1877.

La formation de l'alcool est en rapport avec la maturité des fruits.

(La pourriture n'est qu'une maturité anticipée) [1].

Il faudra rechercher l'alcool dans les tubercules, les racines, les tiges, les feuilles, fruits verts, fruits mûrs et pourris.

L'alcool est évidemment un produit de la végétation ; avec l'accroissement l'alcool est un résidu, un produit de décomposition, ou bien a-t-il un rôle à remplir [2] ?

Pourquoi cependant la levûre de bière en forme-t-elle en si grande quantité.

Parce qu'elle se reproduit avec une grande activité.

1. Cette phrase est entre parenthèses dans le manuscrit.

2. La *Revue* supprime les mots *avec l'accroissement* et écrit *est-il un résidu*, ce qui change le sens de la phrase qui, du reste, n'est pas coupée en deux membres comme la coupe la *Revue*.

XXII

Saint-Julien, 20 octobre 1877.

La formation de l'alcool et l'augmentation de l'alcool dans leur tissu ne dépend (1) *pas de leur soustraction à l'air. — Cela dépend de la maturité. La pourriture à l'air ou à l'abri du contact de l'air produit également de l'alcool* (2).

Les expériences de Lechartier, Bellamy et de Luca sont vraies (3); mais il est inutile de soustraire les feuilles et les fruits à l'air. — Ils les font pourrir à l'abri de l'air et voilà tout; mais pourris au contact de l'air, c'est la même chose. Donc la fermentation n'est pas la vie sans air.

XXIII

Saint-Julien, 20 octobre 1877.

La formation de l'alcool est indépendante de toute cellule.

Démonstration :

L'alcool augmente dans les jus retirés des fruits par un ferment soluble. Car cette augmentation d'alcool n'a pas lieu si le jus est cuit (à voir si en poursuivant l'expérience plus longtemps sur des jus cuits, on verra de l'alcool se former sans levûre).

Dans le verjus et les jus pourris, l'augmentation de l'alcool a lieu sans levûre. Dans le jus mûr protoplasmique seul, la levûre se montre avec la formation d'alcool.

XXIV

Saint-Julien, 20 octobre 1877.

Théorie de la fermentation alcoolique.

La théorie est détruite :

1° Ce n'est pas la vie sans air ; car à l'air comme à l'abri de son contact, l'alcool se forme sans levûre ;

2° Le ferment ne provient pas de germes extérieurs, car dans les jus aplasmiques ou inféconds (verjus et jus pourris), le ferment ne se développe pas, quoiqu'ils soient sucrés. Si on y ajoute du ferment, alors ils fermentent.

3° L'alcool se forme par un ferment soluble en dehors de la vie.

Dans fruits pourris ou mûrissants, il y a alors décomposition du fruit et

1. *Sic.* (*Note de l'Édition.*)
2. La *Revue* reproduit inexactement ce titre.
3. Au lieu de *de Luca*, la *Revue* écrit *et autres.*

non synthèse biosique de levûre ou de végétation. L'air est absolument nécessaire pour cette décomposition alcoolique [1].

4° Ce ferment soluble se trouve dans le jus retiré du fruit (jus pourri); l'alcool continue à s'y former et à augmenter.

Avec l'infusion de levûre ancienne, la démonstration devient encore plus facile.

5° Il y a dans la fermentation deux états à étudier :

A. Décomposition.

B. Synthèse morphologique [2].

L'existence de ce manuscrit de Claude Bernard me fut signalée par M. le Dr Armand Moreau, de l'Académie de médecine, le jour même où il fut publié. J'arrivais à l'Académie de médecine vers midi, le 20 juillet 1878, pour assister à une Commission relative à l'affection *charbonneuse*, lorsque je rencontrai le docteur Moreau, tenant à la main le numéro de la *Revue* [*scientifique*], qui avait paru le matin. Il me dit sur le ton d'une grande surprise : « Connaissez-vous cet article de Bernard sur la fermentation? — Non, lui répondis-je. — Mais vous, pour qui Bernard avait autant d'estime que d'amitié, comment ignorez-vous cette circonstance? C'est un grand événement scientifique. »

Depuis la mort de Bernard, en effet, il circulait des bruits quelque peu mystérieux sur des idées nouvelles et des secrets relatifs à la fermentation que Bernard avait emportés dans la tombe.

On savait qu'à sa maison de campagne de Saint-Julien, près de Villefranche, où il passait le temps des vacances, il avait fait, en octobre 1877, quatre mois avant sa mort, des expériences sur la fermentation; que, de retour à Paris, il avait travaillé sur le même sujet dans les mois de novembre et de décembre, et toujours seul, dans un cabinet situé au-dessus de son laboratoire habituel, au premier étage du Collège de France; enfin, que plusieurs des personnes qui l'approchaient avaient reçu de lui certaines confidences pendant sa maladie. On connaissait quelques-unes de ces confidences par des articles nécrologiques qui avaient paru dans les journaux quotidiens. L'une d'elles est rappelée par M. Berthelot dans le préambule dont il a accompagné l'article de la *Revue*. Je la reproduis :

« Lorsque Claude Bernard, dit l'éminent chimiste, fut enlevé à la Science, son génie était dans toute sa force et son esprit d'invention

1. Cette troisième conclusion est très inexactement reproduite par la *Revue*. Le manuscrit porte un point après ces mots *en dehors de la vie*. En outre, la phrase suivante : « Dans fruits, etc. » est à la ligne. Le texte de la *Revue* change le sens d'une partie de la conclusion.

2. La *Revue* place la signature CLAUDE BERNARD à la fin de son texte. La signature de Bernard n'existe nulle part dans le manuscrit, ni au commencement, ni à la fin. Mais il est certain qu'il a été écrit tout entier de sa main, à Saint-Julien, en octobre 1877.

n'avait souffert aucune diminution. Il avait entrepris depuis quelques mois une nouvelle série de recherches sur la fermentation alcoolique, et il annonçait à ses amis et à ses élèves qu'il croyait avoir fait des découvertes susceptibles de modifier profondément les théories régnantes.

« Malheureusement, la mort l'a surpris avant qu'il ait pu donner son secret; quand il en eut la pensée, il était déjà trop tard : « Cela est dans ma tête », disait-il à M. d'Arsonval, son dévoué préparateur, qui a entouré ses derniers moments des soins les plus affectueux, « cela est dans ma tête, mais je suis trop fatigué pour vous l'expliquer. »

J'extrais le passage suivant d'un article inséré par M. Paul Bert, l'élève et l'ami de Bernard, dans le numéro du 12 février du journal *La République française*, au lendemain de la mort du grand physiologiste :

« De nouvelles découvertes devaient, cette année, fournir une preuve nouvelle de sa fécondité agissante. Ses amis, ses élèves en ont reçu la confidence incomplète, et il résulte des quelques paroles qui lui sont échappées que la théorie des fermentations allait recevoir de ses recherches, exécutées pendant les vacances dernières, des clartés inattendues. Ce travail considérable dont, il y a quatre jours, il disait encore : « C'est dommage, c'eût été bien finir », est perdu pour la Science. »

MM. Armand Moreau, Dastre, d'Arsonval m'ont assuré que, dans les mois qui ont précédé sa mort, Bernard s'était souvent exprimé ainsi : « Les expériences de Pasteur sont exactes, mais il n'a vu qu'un côté de la question. » Quelquefois il allait plus avant dans son opposition aux conclusions que j'ai déduites de mes recherches. « Pasteur n'a vu qu'un côté de la question. La formation de l'alcool est un phénomène très général. Il faut bannir des fermentations la vitalité des cellules. Je n'y crois pas. » J'ai écrit ces dernières lignes sous la dictée de M. d'Arsonval. « Cent fois, a ajouté celui-ci, j'ai entendu M. Bernard s'exprimer comme je viens de le dire dans le cours du mois de janvier qui précéda sa mort. Il était alors retenu dans son fauteuil, mais non alité ; cependant sa fatigue était déjà extrême ; ainsi il était obligé de se faire lire ses lettres. Souvent alors il m'a parlé de son projet d'introduire les fermentations dans son prochain cours du Jardin des Plantes, mais il ajoutait qu'il viendrait d'abord discuter ses idées avec vous. »

M. Paul Bert m'a adressé, le 10 août 1878, une lettre où je lis :

« J'ai peu vu M. Bernard pendant les mois de novembre et de décembre 1877, et cependant, à deux ou trois reprises, il m'a parlé avec une satisfaction évidente de ses travaux sur la fermentation. C'étaient des phrases courtes, quasi sibyllines, sans aucune explication

expérimentale : « Pasteur n'a qu'à bien se tenir.... Pasteur n'a vu qu'un côté des choses.... Je fais de l'alcool sans cellule.... Il n'y a pas de vie sans air.... Vous verrez mon cours; j'ai fait de bonnes choses ces vacances.... » Toutes allusions dont le respect m'empêchait de demander une explication plus détaillée, mais qui prouvait l'importance qu'il attachait à ses recherches, évidemment en cours d'exécution. Pendant les derniers jours de sa maladie, nous eûmes fréquemment occasion, Dastre, d'Arsonval, moi et aussi Moreau, de constater que nous avions reçu les mêmes confidences et tout aussi obscures. Deux ou trois jours avant l'issue fatale, Dastre et d'Arsonval, plus avant dans sa familiarité quotidienne, essayèrent d'obtenir des indications plus claires; ils vous diront eux-mêmes quel cruel aveu d'impuissance ils recueillirent de l'homme de génie dont l'intelligence mourait avant le corps. »

C'était donc une précieuse trouvaille que ce cahier de Notes écrites par Claude Bernard sur la fermentation. On allait enfin connaître ces secrets qu'il avait laissé pressentir. Le lecteur comprendra l'émotion, l'inquiète curiosité avec lesquelles, rentré dans mon laboratoire, après cette séance de Commission de l'Académie de médecine, je parcourus l'article de la *Revue scientifique*. Malgré le grand intérêt que m'avait offert le travail de la Commission, travail qui avait eu pour résultat d'amener un Membre de l'Académie à retirer, en présence de MM. Bouley, Davaine, Vulpian, Moreau, les contradictions qu'il m'avait opposées pendant plusieurs séances publiques, toutes mes pensées étaient pour le manuscrit de Bernard. Allais-je donc avoir à défendre cette fois mes travaux contre ce confrère et cet ami pour lequel je professais une admiration profonde, ou bien aurais-je à constater des révélations inattendues qui infirmeraient et discréditeraient les résultats que je croyais avoir définitivement établis?

A peine eus-je achevé la lecture du manuscrit de Bernard que j'éprouvai tout à la fois un grand soulagement et une singulière déception : un soulagement, parce que je n'y trouvais rien qui pût atteindre la rigueur de mes études; une déception, parce que la sagacité du grand physiologiste, sa logique si sûre, me paraissaient en défaut, d'un bout à l'autre de son écrit posthume. Quelle disproportion, par exemple, entre les dernières conclusions écrites d'un ton si ferme et les faits qui les motivent!

Je recommençai plusieurs fois ma lecture, croyant toujours que le sens de certains passages et de certaines expériences m'avait échappé. Je ne pouvais me résoudre à reconnaître que tout, dans ce manuscrit, était insuffisant ou insoutenable; et tout d'abord, m'en prenant, non

sans regret, à mon confrère et ami M. Berthelot, je l'accusais d'avoir compromis la mémoire de Bernard. Sans doute, me disais-je, il était bon de publier des Notes écrites par cet homme de génie ; mais, puisqu'il n'en avait ni demandé ni autorisé la mise au jour, il était de devoir de les contrôler par de nouvelles expériences et de dégager sa responsabilité pour tout ce que le manuscrit contiendrait de défectueux en lui reportant, au contraire, l'honneur des vérités que ce manuscrit pouvait révéler. Il convenait, en un mot, d'accompagner ces Notes, non signées, et écrites à la hâte, d'un commentaire expérimental qui était à tout prendre facile à faire.

Quant à moi, personnellement, je me trouvais dans un cruel embarras. Avais-je le droit de considérer le manuscrit de Bernard comme l'expression de sa pensée, et étais-je autorisé à en faire une critique approfondie ? Dans les mois de novembre et de décembre, après son retour de Saint-Julien, la santé de Bernard s'était montrée en apparence très satisfaisante ; il assistait aux séances de l'Académie, où j'étais à côté de lui, et plusieurs fois même, je m'en souvenais, nous avions échangé nos idées sur les fermentations. Or, il m'avait laissé dans une complète ignorance de ses expériences du mois d'octobre ; il n'y avait fait aucune allusion. S'il était convaincu, me disais-je, d'avoir par devers lui la démonstration des conclusions magistrales qui terminent son manuscrit, par quel motif me l'a-t-il cachée ? Je me reportais aux témoignages de bienveillante affection qu'il m'avait donnés depuis mon entrée dans la carrière scientifique, et j'arrivais à cette conclusion que les Notes laissées par Bernard n'étaient qu'un programme d'études, qu'il s'était essayé sur le sujet et que, suivant en cela une méthode qui lui était habituelle, il avait, afin de mieux découvrir la vérité, formé le projet d'instituer des expériences qui mettraient en défaut mes opinions et mes résultats. Très perplexe, je pris le parti de porter le débat devant nos juges naturels, et, deux jours après, je fis à l'Académie des sciences une lecture dont voici quelques extraits [1]. On trouvera cette communication reproduite intégralement dans l'Appendice de cet opuscule [2].

Je viens de lire, dans le dernier numéro de la *Revue scientifique*, un article intitulé : La Fermentation alcoolique, dernières expériences de Claude Bernard.

.... L'intérêt que j'ai pris à ces Notes, ai-je besoin d'en parler, puisqu'elles portent sur un sujet qui m'occupe depuis plus de vingt années et qu'elles sont

1. Pasteur. Sur la théorie de la fermentation. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 22 juillet 1878, LXXXVII, p. 125-128.

2. *Voir* p. 552-555 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

de Claude Bernard! Je dois avouer, toutefois, que cet intérêt n'a pas été pour moi sans un mélange de grande surprise. De la première ligne à la dernière, en effet, elles tendent à contredire les faits et les conclusions que j'ai souvent produits devant cette Académie, et les vingt dernières lignes sont la condamnation absolue, sans restriction aucune, de mes vues au sujet de la fermentation en général et de la fermentation alcoolique en particulier.

.... Ma surprise s'est accrue lorsque j'ai remarqué que toutes ces Notes ont été écrites par Claude Bernard du 1er au 20 octobre dernier, à sa maison de campagne de Saint-Julien, près de Villefranche, que Claude Bernard a passé le mois de novembre et le mois de décembre parmi nous, assistant, très bien portant, à nos séances, assis à ma droite, vous le savez. N'est-il pas étrange que lui, si franc, si ouvert, si porté vers la libre discussion, qui n'a cessé de me témoigner la plus bienveillante affection, qui chaque semaine, pour ainsi dire, causait avec moi, à cette place, sur la fermentation, ait eu par devers lui, en revenant de Saint-Julien à la fin d'octobre, des preuves convaincantes que j'étais entièrement dans l'erreur, et qu'il me l'eût caché sans y faire même la moindre allusion? Cela ne me paraît pas possible : aussi je me demande si les éditeurs de ces Notes ne se sont pas aperçus que c'est chose fort délicate de prendre sur soi, sans y être formellement autorisé par l'auteur, de mettre au jour des Notes et des cahiers d'études. Qui d'entre nous ne serait ému à la pensée qu'on agira de même à son égard ?

L'existence de ces Notes, l'énorme disproportion entre les conclusions et les faits qui les motivent me semblent comporter une explication très différente de celle que M. Berthelot a suggérée aux lecteurs de la *Revue scientifique*, en les invitant à croire, d'après des *on dit*, que « les déclarations de Claude Bernard, quelques jours avant sa mort, étaient tout à fait conformes aux affirmations générales des Notes de Saint-Julien ». Contrairement à cette assertion de M. Berthelot, je suis porté à croire que Claude Bernard n'a fait, pendant ces quinze jours du mois d'octobre 1877, et en novembre et décembre, que s'essayer sur le sujet de la fermentation alcoolique.

J'imagine que comme méthode de travail, méthode excellente dans tous les cas, et pour savoir si j'étais dans le vrai, il ne trouva rien de mieux que de chercher par de nombreuses expériences et d'essayer par certaines vues préconçues à mettre en défaut mes opinions et mes résultats. Prendre pour guide cette idée que j'étais sur tous les points dans l'erreur, instituer des expériences pour l'établir, telle a dû être sa méthode de préparation sur le sujet qu'il voulait traiter.

N'est-ce point là l'explication de ces Notes que M. Berthelot vient de publier et du silence que Claude Bernard a gardé à l'égard du confrère qu'elles intéressaient le plus ?

C'eût été mon appréciation et celle de plusieurs amis intimes de Claude Bernard, si nous avions été consultés avant qu'on livrât ces Notes à la publicité.

Si, malgré tout ce que je viens de dire, on voulait faire de ces Notes une sorte de manifeste contre mes travaux, prétendre que Claude Bernard

a été convaincu de la vérité des conclusions que j'ai rappelées tout à l'heure, alors, et malgré le profond respect que j'ai toujours eu pour notre illustre confrère, je dirais franchement que Bernard s'est trompé, que toutes les expériences dont il parle, comme il en fait d'ailleurs l'aveu à plusieurs reprises, sont douteuses et incertaines, et que, suivant moi, celles qui sont vraies sont mal interprétées.

Toutefois, je comprends trop le respect qui doit s'attacher à ce qu'a pensé ou écrit, même dans le silence du laboratoire, notre illustre confrère, pour me permettre de signaler dès à présent ce que je trouve de très défectueux dans ces Notes, à les prendre dans leur texte absolu. Je veux d'abord les revoir expérimentalement, me placer dans le courant même des idées et des expériences de Claude Bernard, et je convie ses amis, ses admirateurs, à agir de même. Ils me donneront ainsi l'occasion de défendre la vérité qu'établissent mes travaux, en présence d'opinions réelles et réellement exprimées.

Ces passages de ma lecture traduisaient fidèlement mes impressions au lendemain de la publication du manuscrit de Bernard. Ils se résument dans ces deux propositions : Bernard ne pouvait avoir les convictions qu'il exprime; elles jurent avec la faiblesse de ses observations et de ses expériences. Après tout, si quelqu'un veut les défendre, je suis prêt à en faire la critique immédiate, en m'appuyant sur mes seuls travaux antérieurs. Dans le cas contraire, par respect pour la mémoire de Bernard, je répéterai ses expériences avant de les discuter.

Mieux éclairé aujourd'hui par les confidences postérieures des élèves et des amis de Bernard, et particulièrement par celles de la lettre de M. Paul Bert, je me vois contraint d'avouer que le manuscrit posthume de Bernard est, bien plus que je ne le croyais au lendemain de sa mise au jour, l'expression de sa pensée. Cette opinion, toutefois, laisse entière l'énigme du silence qu'il a gardé à mon égard. Mais pourquoi en chercherais-je l'explication ailleurs que dans la connaissance intime de son beau caractère? Ce silence n'a-t-il pas été un nouveau témoignage de sa bonté et l'un des effets de la mutuelle estime qui nous unissait? Puisqu'il pensait avoir entre les mains la preuve que les interprétations que j'avais données à mes expériences étaient erronées, n'a-t-il pas voulu seulement attendre pour m'en instruire l'époque où il se croirait prêt pour une publication définitive? J'aime à prêter aux actions de mes amis des intentions élevées, et je veux croire que la surprise que m'a causée sa réserve à l'égard du confrère que ses contradictions intéressaient le plus doit faire place dans mon cœur à des sentiments de pieuse gratitude.

Toutefois Bernard eût été le premier à me rappeler que la vérité

scientifique plane au-dessus des convenances de l'amitié, et que j'ai le devoir, à mon tour, de discuter en toute liberté ses vues et ses opinions. C'est ce que je vais essayer de faire, non sans avoir d'ailleurs tenu l'engagement que j'ai pris publiquement de répéter ses expériences, en me plaçant dans l'ordre des idées préconçues qui les ont inspirées. Chemin faisant, je m'efforcerai de retrouver la voie qui, par degrés insensibles, a conduit à l'erreur le grand physiologiste. C'est celle-là même, hélas! dont il a tant de fois marqué les écueils, qu'il a su tant de fois éviter dans ses lumineuses recherches. Mais la voie est étroite et difficile qui mène à la vérité! A qui a-t-il été donné de parcourir avec honneur et courage une longue carrière sans quelque défaillance momentanée?

L'intérêt du manuscrit de Bernard est bien plus, à mon sens, dans une question de méthode que dans les résultats inattendus qu'il fait connaître. L'enchaînement du raisonnement et des expériences témoigne, à chaque page, que cette trame hardie est l'œuvre d'un observateur qui sera hors de pair lorsqu'une conception juste lui servira de guide dans l'expérimentation. Mais la méditation de plusieurs points de son programme fait voir à un lecteur non prévenu que les questions à résoudre sont loin de s'y montrer affranchies de tout esprit de système. Prenez, par exemple, la Note du début, et vous lirez aisément entre les lignes que Bernard ne va pas se livrer à une recherche libre, mais plutôt à la constatation de résultats hypothétiques, déduits d'opinions préconçues ou suggérées par des expériences informes auxquelles un système trompeur mêle ses illusions.

Si l'on veut embrasser d'un coup d'œil la liaison des idées et des expériences de Bernard, il est indispensable de se familiariser d'abord avec les préoccupations habituelles de sa pensée depuis quelques années. Ces préoccupations se trahissent dans l'ouvrage qu'il a laissé en mourant, *Sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux* (1), ouvrage qui s'en trouve imprégné, pour ainsi dire. J'emprunte les pages suivantes à ce livre, dont il corrigeait les épreuves au moment où il écrivait les Notes de Saint-Julien.

La vie ne saurait être caractérisée exclusivement par une conception vitaliste ou matérialiste. Les tentatives qu'on a faites à ce sujet de tout temps sont illusoires et n'ont pu aboutir qu'à l'erreur.

Devons-nous rester sur cette négation?

Non. Une critique négative n'est pas une conclusion. Il faut nous

1. *Paris*, 1878, in-8° (1 pl. et 45 fig. (*Note de l'Édition*.)

former à notre tour une idée, chercher un caractère dont la valeur, bien qu'elle ne soit pas absolue, soit capable de nous éclairer dans notre route sans jamais nous tromper.

Les caractères que nous avons précédemment rappelés correspondent à des réalités ; ils sont bons, utiles à connaître. Je dirai, de mon côté, la conception à laquelle m'a conduit mon expérience.

Je considère qu'il y a nécessairement dans l'être vivant deux ordres de phénomènes :

1° Les phénomènes de *création vitale* ou de synthèse organisatrice ;

2° Les phénomènes de mort ou de *destruction organique*.

Il est nécessaire de nous expliquer en quelques mots sur la signification que nous donnons à ces expressions : *création* et *destruction* organiques.

Si, au point de vue de la matière inorganique, on admet avec raison que rien ne se perd et que rien ne se crée, au point de vue de l'organisme il n'en est pas de même. Chez un être vivant, tout se crée morphologiquement, s'organise, et tout meurt, se détruit.

Dans l'œuf en développement, les muscles, les os, les nerfs apparaissent et prennent leur place en répétant une forme antérieure d'où l'œuf est sorti.

La matière ambiante s'assimile aux tissus, soit comme principe nutritif, soit comme élément essentiel. L'organe est créé ; il l'est au point de vue de sa structure, de sa forme, des propriétés qu'il manifeste.

D'autre part, les organes se détruisent, se désorganisent à chaque moment et par leur jeu même ; cette désorganisation constitue la seconde phase du grand acte vital.

Le premier de ces deux ordres de phénomènes est seul sans analogues directs ; il est particulier, spécial à l'être vivant : cette synthèse évolutive est ce qu'il y a de véritablement vital. Je rappellerai à ce sujet la formule que j'ai exprimée dès longtemps : *La vie, c'est la création.*

Le second, au contraire, la destruction vitale, est d'ordre physico-chimique, le plus souvent le résultat d'une combustion, d'une fermentation, d'une putréfaction, d'une action, en un mot, comparable à un grand nombre de faits chimiques de décomposition ou de dédoublement. Ce sont les véritables phénomènes de *mort* quand ils s'appliquent à l'être organisé.

Et, chose digne de remarque, nous sommes ici victimes d'une illusion habituelle, et, quand nous voulons désigner les phénomènes de la *vie*, nous indiquons en réalité des phénomènes de *mort*.

Nous ne sommes pas frappés par les phénomènes de la vie. La synthèse organisatrice reste intérieure, silencieuse, cachée dans son expression phénoménale, rassemblant sans bruit les matériaux qui seront dépensés. Nous ne voyons point directement ces phénomènes d'organisation. Seul l'histologiste, l'embryogéniste, en suivant le développement de l'élément ou de l'être vivant, saisit des changements, des phases qui lui révèlent ce travail sourd : c'est ici un dépôt de matière, là une formation d'enveloppe ou de noyau ; là une division ou une multiplication, une rénovation.

Au contraire, les phénomènes de destruction ou de mort vitale sont ceux qui nous sautent aux yeux et par lesquels nous sommes amenés à caractériser la vie. Les signes en sont évidents, éclatants : quand le mouvement se

produit, qu'un muscle se contracte, quand la volonté et la sensibilité se manifestent, quand la pensée s'exerce, quand la glande sécrète, la substance du muscle, des nerfs, du cerveau, du tissu glandulaire se désorganise, se détruit et se consume. De sorte que toute manifestation d'un phénomène dans l'être vivant est nécessairement liée à une destruction organique, et c'est ce que j'ai voulu exprimer lorsque, sous une forme paradoxale, j'ai dit ailleurs (*Revue des Deux-Mondes*, t. IX, 1875) : *La vie, c'est la mort.*

L'existence de tous les êtres, animaux ou végétaux, se maintient par ces deux ordres d'actes nécessaires et inséparables, l'*organisation* et la *désorganisation*. Notre science devra tendre, comme but pratique, à fixer les conditions et les circonstances de ces deux ordres de phénomènes.

Cette division des manifestations vitales que nous avons adoptée est, selon nous, l'expression même de la réalité : c'est le résultat de l'observation des phénomènes. (*Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux*, p. 39 et suivantes ; 1878).

Les phénomènes de la vie, d'après Bernard, se partagent donc en deux grands groupes, ceux de synthèse organique et ceux de destruction organique. Quels sont ces derniers ?

Lavoisier, dit Bernard, les rattache tous à trois types : 1° *Fermentation* ; 2° *combustion* ; 3° *putréfaction.*

C'est, en effet, par l'un ou l'autre de ces procédés que la matière organisée se détruit, soit par suite du fonctionnement vital, soit dans le cadavre après la mort (p. 157).

Plus loin :

Les fermentations amènent la destruction des composés complexes des organismes, leur dédoublement en des corps plus simples accompagné d'une hydratation. Elles jouent un rôle très important dans la nutrition (p. 161).

.... Les actions du genre fermentatif sont le type général des actions vitales de destruction (p. 163).

Enfin, après avoir exposé rapidement les opinions les plus récentes sur les phénomènes de combustion et de putréfaction organique, Bernard conclut en ces termes :

Sans vouloir entrer plus avant dans la question des décompositions organiques, qui est encore entourée de grandes obscurités, nous nous bornerons à déduire de cette leçon un seul résultat général.

La putréfaction, comme la combustion, se rattache aux fermentations. Toutes les actions de décomposition organique ou de destruction vitale dont l'organisme est le théâtre se ramènent en somme à des fermentations.... (p. 178).

Résumons tout ce qui précède en disant que, pour Claude Bernard, la vie se compose de synthèses organiques et de destructions organiques, et que toutes les actions de décomposition organique se ramènent à des fermentations.

Par ces conceptions sur les phénomènes de la vie, Bernard croyait à une opposition obligée entre les phénomènes de vie ou de synthèse et les phénomènes de mort ou de destruction, entre la vie proprement dite et les fermentations. De là, et d'une manière nécessaire, la condamnation des conclusions expérimentales de mes études au sujet des fermentations proprement dites, car il existe, suivant moi, certaines conditions où, soudainement, apparaissent des actes de fermentation en relation directe avec les actes nutritifs et les synthèses organiques. Cela arrive toutes les fois qu'il y a vie, formation de cellules, synthèse de principes immédiats, et, plus généralement même, phénomènes organiques, mutations chimiques dans les tissus et les cellules, sans intervention de gaz oxygène libre. J'ai vu les cellules de la levûre se multiplier hors de tout contact avec l'air. J'ai semé des vibrions dans un liquide au sein du vide le plus parfait ou dans un milieu saturé d'acide carbonique pur, et dans des conditions même où l'être microscopique n'avait à sa disposition, pour constituer tous les principes carbonés, azotés et minéraux de ses générations successives, que de l'acide lactique, ou de l'acide tartrique ou de la glycérine, de l'ammoniaque, des phosphates, etc. Corrélativement à la multiplication et au mouvement de ces vibrions, hors du contact de l'air, j'ai vu l'acide lactique former tous les produits de la fermentation butyrique la mieux caractérisée. Ces faits et beaucoup d'autres du même ordre ont subi, un peu partout, en Allemagne notamment, l'épreuve de la contradiction, et les mêmes observateurs qui avaient déclaré la vie sans air impossible sont venus loyalement à résipiscence. On peut, à ce sujet, consulter la discussion que j'ai soutenue avec le savant naturaliste Oscar Brefeld [1]. Or, ces résultats sont incompatibles avec les vues systématiques de Claude Bernard. Pour moi qui ne suis pas enchaîné à un système, je constate simplement qu'il existe une vie sans air et que, quand elle se manifeste, la fermentation apparaît. Bernard, dominé par un système, veut de toute nécessité retrouver dans la vie du ferment les deux grandes divisions qui se partagent selon lui les manifestations vitales, synthèse organique et décomposition organique; il faut, en outre, qu'il les retrouve distinctes et déterminées par des

1. Voir *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXX, 1875, p. 452-457 [p. 430-435 du présent volume]. Et mes *Études sur la bière*, 1876, ch. VI [tome V des Œuvres de Pasteur].

fonctionnements physiologiques différents. Pour moi, la vie, les synthèses organiques, provoquent la décomposition, parce que la vie se fait par le concours de l'oxygène des combinaisons, sucre, acide lactique, acide tartrique, etc...., sans que le gaz oxygène libre extérieur intervienne. Pour Bernard, les synthèses organiques procèdent de phénomènes tout autres que ceux des destructions organiques, le même mécanisme ne pouvant à la fois édifier et détruire ; il admet une classe de phénomènes physiologiques propre aux synthèses, une autre propre aux destructions. Tandis que ces mots, *vie* et *fermentation*, jurent dans son système, ils couvrent, suivant moi, la plus étroite solidarité, à la seule condition que la vie ait lieu sans air.

A la rigueur, Bernard ne nie pas que la vie et la fermentation puissent être réunies et solidaires, mais le déterminisme des phénomènes ne serait pas celui que je prétends établir. Comment pourra-t-il concilier les faits que j'ai observés avec les déductions de son système? Il imagine cette hypothèse, que, au fur et à mesure que les cellules s'édifient sous l'influence de la nutrition et de la génération, une *diastase*, un FERMENT SOLUBLE prend naissance, ferment soluble qui provoque à lui seul la fermentation alcoolique. Cette hypothèse sauvera le système; grâce à elle, ce n'est plus la vie qui fera la fermentation, c'est une substance intermédiaire, c'est le ferment soluble, qui agira à la manière d'un phénomène chimique [1]. Rappelons-nous les paroles de Bernard à M. d'Arsonval dans les mois qui ont précédé sa mort : *Il faut affranchir la fermentation de la vitalité des cellules.* En d'autres termes, il faut que la fermentation soit un phénomène de mort, un phénomène de destruction, un phénomène cadavérique, un phénomène d'ordre chimique; ce ne peut être un acte lié à la vie. Celle-ci édifie, celle-là détruit. Or, l'édification et la destruction de divers principes immédiats ne sauraient résulter d'un même acte physiologique.

Supprimez l'hypothèse du ferment soluble produit au fur et à mesure de la multiplication des cellules de la levûre, et vous n'aurez plus en présence que deux choses, la formation de cellules et la fermentation, c'est-à-dire des synthèses et des décompositions, celles-ci faites par celles-là, ce qui est incompatible avec la conception de Bernard au sujet des phénomènes de la vie. Grâce au ferment soluble, on a en

1. Dans la Note XXI de son manuscrit, Bernard se pose cette question :
« Pourquoi cependant la levûre de bière en forme-t-elle (de l'alcool) en si grande quantité? » Et il répond :
« Parce qu'elle se reproduit avec une grande activité. » Cela signifie qu'elle produit une grande quantité de ferment soluble, les phénomènes de destruction organique allant de pair, selon Bernard, avec ceux de multiplication et de synthèse, sous le rapport de leur activité.

présence « des synthèses morphologiques » avec leurs lois et leur physiologie propre, et, d'autre part, « des décompositions » d'ordre chimique dues au ferment soluble. « Il y a dans la fermentation deux états à étudier, dit Bernard : décomposition et synthèse morphologique. » Il les retrouve ici dans des actes séparés.

Ce ferment soluble alcoolique, Bernard l'a-t-il rencontré dans la fermentation par la levûre? Il ne s'explique pas sur ce point, mais l'existence de ce corps est une déduction obligée de son système, et, si on le poussait à bout, il dirait volontiers avec M. Berthelot « que si on ne trouve pas le ferment soluble, c'est qu'il se consomme au fur et à mesure de sa production [1] », ce qui n'est qu'une hypothèse ajoutée à une autre, mais une hypothèse très habile à coup sûr, puisqu'elle supprime jusqu'à la possibilité de la discussion et de la contradiction.

Heureusement pour ma critique, Bernard va plus loin que M. Berthelot. La présence d'un ferment alcoolique soluble existe pour lui à n'en pas douter dans le jus du raisin mûr, surtout dans le jus des grains pourris, en général dans tout ce qui se putréfie ; il ajoute que la démonstration de ce fait devient très facile avec l'infusion de levûre ancienne (*voir* Note XXIV).

Pourquoi cette nécessité de la présence d'un ferment alcoolique soluble dans le jus de raisin qui pourrit? Ici se dévoilent encore, tout à la fois, les idées systématiques de Bernard et la tyrannie qu'elles exercent sur son esprit.

Sans cesse apparaissent sous sa plume des mots tels que ceux-ci : levûre de bière pourrie, pancréas qui pourrit, raisin pourri, marc de raisin pourri, jus pourri....

Quelle idée se faisait donc Claude Bernard de la pourriture des grains de raisin? La Note XXI va nous l'apprendre : « La pourriture, dit-il, n'est qu'une maturité anticipée. » Sans nul doute, le mot *anticipée* est pris ici dans une acception impropre, échappée au courant de la plume. C'est maturité *avancée* qu'il veut dire.

Se peut-il que l'esprit pénétrant de Bernard se soit montré satisfait de vues aussi vagues? Pour comble de malheur, ses observations et ses expériences vont achever de le tromper : il écrase des raisins pourris, les exprime dans un linge, distille le jus qui s'écoule et le compare au jus de raisins sains et mûrs. Dans ce dernier, il ne trouve que des

1. BERTHELOT. [Observations.] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXVII, 1878, p. 189.

Qu'on le remarque bien, l'existence d'un ferment soluble alcoolique ne changerait rien à ma manière de voir, à la seule condition toutefois qu'il fût prouvé que ce ferment naît dans les cas où il y a vie sans air.

traces plus ou moins douteuses d'alcool; là, il en obtient de notables quantités. Mettant alors en correspondance le fait qu'il constate avec cette étrange opinion que la pourriture est une maturité avancée, il conclut que « la formation de l'alcool est en rapport avec la maturité des fruits », que, au fur et à mesure que la maturité avance, il se fait de l'alcool, peu d'abord, puis davantage, et beaucoup dans la maturité extrême ou pourriture.

Cette théorie paraîtra singulière à coup sûr. Dans l'esprit de Bernard, elle est naturelle et obligée. Voici, en effet, l'une de ses déclarations : *Les phénomènes de destruction organique sont les mêmes, soit par suite du fonctionnement vital, soit dans le cadavre après la mort.* Or, dirait Bernard, le grain de raisin mûr et qui va pourrir n'est-il pas le cadavre de ce grain, puisque sa vie est achevée et qu'il doit être livré dès lors aux phénomènes de destruction organique? Le ferment alcoolique soluble, existant pour Bernard dans la levûre de bière en action, c'est-à-dire pendant le fonctionnement vital, peut donc être cherché avec succès dans le grain de raisin prêt à pourrir ou qui pourrit.

Nous voyons par ce qui précède le rôle prépondérant que Bernard était porté à attribuer aux ferments solubles dans les actes soit de fermentation, soit de destruction organique, pour emprunter son langage. On lui eût posé cette question : Comment un cadavre disparaît-il, qu'il eût invoqué principalement, j'en suis persuadé, des actions de ferments solubles [1].

Bernard méconnaît ici deux choses : d'une part, que les *diastases*, jusqu'à présent du moins, n'ont opéré que des phénomènes d'hydratation; d'autre part, et cette remarque est essentielle, que les ferments solubles n'ont encore été produits que par un fonctionnement vital. Il faut des cellules en pleine activité pour former la diastase, la pepsine, l'émulsine.... Les phénomènes de *diastases* qui peuvent s'accomplir dans un végétal ou dans le cadavre après la mort doivent être de courte durée, par suite du non-renouvellement possible de ces puissants et mystérieux agents. Autant que personne, j'attache de l'importance aux actions des substances qu'on appelle des ferments solubles ;

1. Je pourrais demander quelle est la nécessité que la pourriture du grain soit déterminée par un ferment soluble alcoolique. Pourquoi le sucre ne disparaîtrait-il pas d'une autre manière que par la fermentation? Je pourrais faire observer que le sucre n'est pas le seul principe immédiat du grain et que ce n'est certes pas le prétendu ferment alcoolique soluble qui réduirait à leurs éléments l'acide tartrique et les matières azotées. Pour la destruction de ces principes immédiats, Bernard aurait dû en conséquence imaginer d'autres ferments solubles. Ne savait-il pas très bien qu'après la mort il y a destruction de ce qui a vécu par des combustions également dues à l'action d'organismes microscopiques ?

je n'éprouverais aucune surprise à voir les cellules de la levûre produire un ferment alcoolique soluble; je comprendrais que toute fermentation eût pour cause un ferment de cette nature; mais j'imagine plus difficilement que de tels agents soient formés par des cellules livrées à la destruction organique dans un fruit ou dans un cadavre qui pourrit; du moins, je ne connais pas d'exemple de cette nature. Quand je vois l'intelligence lucide de Bernard se complaire dans cette assertion que « la pourriture est une maturité avancée », je ne puis me l'expliquer que par l'impression qui lui était restée, à son insu, d'une doctrine longtemps maîtresse des esprits, la doctrine de la spontanéité, doctrine que je combats depuis vingt années par des travaux dont les preuves comme la portée me paraissent avoir échappé à l'esprit pourtant si pénétrant de Bernard.

Ces travaux me permettent d'affirmer que le grain de raisin mûr n'entre en décomposition, à l'abri de l'air, que par une sorte de vie continuée de ses cellules, ou, au contact de l'air, par l'influence désorganisatrice que provoquent des êtres microscopiques inférieurs, auxquels servent d'aliments les matériaux du grain et du cadavre. Le grain de raisin mûr, libre ou attaché sur son cep à sa grappe flétrie et desséchée, peut perdre de l'eau, se rider, se combiner à l'oxygène de l'air, comme fait le potassium ou le fer; mais pourrir, c'est-à-dire perdre son sucre, ses acides, ses matières azotées et se réduire finalement en poussière minérale, rien ne me porte à l'admettre dans l'état actuel de la Science. J'ai examiné par milliers des grains de raisin pourris: je n'en ai pas trouvé un seul qui ne présentât à sa surface un ou plusieurs points d'attaque de moisissures.

Suspendez le grain de raisin mûr dans un vase quelconque où circule l'air humide, mais vierge de poussière vivante, et vous le retrouverez, après des siècles, sucré, acide, aussi peu altéré que si vous aviez enfermé dans le vase certaines matières minérales, moins altéré même que du fer, aussi peu que des cristaux de sucre ou d'acide tartrique, pas plus altéré, du moins, que le sang et l'urine que j'extrais du corps humain en bonne santé et que j'enferme dans des vases ouverts où ne peut circuler qu'un air pur. Le raisin ne pourrit au contact de l'air que par l'action de moisissures qui se développent à sa surface et dans son intérieur après que l'air commun, toujours plus ou moins chargé des graines de ces petites plantes, en a déposé une ou plusieurs sur sa pellicule. J'ajoute que toute la scène des altérations changerait, tant ces phénomènes sont peu spontanés, si le suc intérieur du grain de raisin, au lieu d'être acide, était alcalin à la manière des liquides du cadavre humain.

Claude Bernard a passé à côté de ces vérités. Lui, qui avait éloquemment prouvé le danger des systèmes en physiologie, est devenu à son tour le serviteur inconscient de ses idées préconçues : un aiguillon intérieur nous pousse à franchir les limites que notre ignorance nous impose. Dans les mêmes chapitres où Bernard établit l'insuffisance des définitions de la vie proposées par les physiologistes ses devanciers, ne voulant pas *rester* lui-même *sur une négation*, comme il le dit expressément, il est entraîné *à formuler la conception à laquelle son expérience l'a conduit.* Il ne s'aperçoit pas, quoiqu'il l'ait souvent aperçu chez les autres, qu'un système, si rigoureux qu'il soit, est, quoi qu'on fasse, l'expression synthétique d'un ensemble incomplet de connaissances acquises, dont les déductions, œuvres pures de l'entendement, sont autant d'écueils qui naissent sous les pas et qui exposent à forcer le système. Non, les manifestations de la vie ne sont pas toutes comprises dans les deux divisions et les deux séries de phénomènes que Bernard avait conçues : celles-ci correspondaient peut-être, quand il les a formulées, à ce qu'il savait de la vie ; elles ne pouvaient embrasser ce qu'il en ignorait. Que des faits nouveaux viennent à surgir, qu'on découvre, par exemple, comme je prétends l'avoir fait, que d'une part la vie sans air est possible, que de l'autre la loi évolutive du germe cachée dans chaque cellule de l'organisme manifeste encore sa puissance après la mort, même en dehors de tout contact avec l'oxygène de l'air, et il se pourra que le système nouveau y trouve sa pierre d'achoppement. C'est précisément ce qui est arrivé, suivant moi, en ce qui concerne les vues de Bernard. Dieu me garde d'être, à mon tour, systématique, mais pourquoi ne dirais-je pas que j'ai cette confiance intime que les actions des ferments solubles s'effaceront un jour, même dans la physiologie des êtres supérieurs, devant celles de la vie sans air ? Ces actions de vie sans air, Bernard faisait plus que de les ignorer, il n'en voulait pas : c'est qu'elles contredisaient ses conceptions sur la vie.

Une fois engagé dans la voie de l'erreur, il est malaisé d'en sortir. Le manuscrit de Bernard va nous en fournir un nouvel exemple. Après avoir montré que cet écrit est principalement une œuvre de déductions *a priori*, il me reste à en discuter les observations et les expériences. Explicitement ou implicitement, elles sont toutes comprises dans les conclusions magistrales qui la terminent.

« La théorie (de Pasteur) est détruite :

« 1° Ce n'est pas la vie sans air ; car, à l'air comme à l'abri de son contact, l'alcool se forme sans levûre.

« 2° Le ferment ne provient pas de germes extérieurs, car dans les jus aplasmiques ou inféconds (verjus et jus pourris), le ferment ne se développe pas, quoiqu'ils soient sucrés. Si l'on y ajoute du ferment, alors ils fermentent.

« 3° L'alcool se forme par un ferment soluble en dehors de la vie.

« Dans fruits pourris ou mûrissants, il y a alors décomposition du fruit et non synthèse biosique de levûre ou de végétation. L'air est absolument nécessaire pour cette décomposition alcoolique.

« 4° Ce ferment soluble se trouve dans le jus retiré du fruit (jus pourris) ; l'alcool continue à s'y former et à augmenter.

« Avec l'infusion de levûre ancienne, la démonstration devient encore plus facile.

« 5° Il y a dans la fermentation deux états à étudier :

« A. Décomposition.

« B. Synthèse morphologique. »

Reprenons une à une ces assertions et les preuves que le manuscrit essaye d'en donner.

1° *Ce n'est pas la vie sans air, car, à l'air comme à l'abri de son contact, l'alcool se forme sans levûre.*

Claude Bernard constate, en effet, que le jus des grains pourris qu'on vient de prendre sur le cep ou sur des raisins conservés dans un fruitier contient de l'alcool en quantités variables, mais toujours sensibles, et que ces grains sont exempts de levûre. La pourriture, suivant Bernard, se produisant au libre contact de l'air, l'alcool se forme donc à l'air et sans levûre. Cette interprétation n'a que l'apparence de l'exactitude, parce que Bernard ne rapporte pas la pourriture à sa vraie cause. Je répète que loin d'être une maturité avancée, comme il le suppose, c'est-à-dire un acte chimique spontané, la pourriture est constamment le résultat de la présence de moisissures à la surface et dans l'intérieur des grains. Dès 1862 (1861) [1], j'ai prouvé que les moisissures, pendant leur vie, absorbent l'oxygène de l'air et dégagent de l'acide carbonique ; ultérieurement, dans mes *Études sur la bière* [2], j'ai reconnu qu'elles produisent de l'alcool lorsque l'oxygène de l'air leur fait plus ou moins défaut. Un des meilleurs moyens, à ma connaissance, pour enlever tout l'oxygène dissous dans un liquide organique, fût-il même largement exposé à l'air, et empêcher que ce liquide dissolve ce gaz de nouveau, consisterait à faire pousser à sa surface un ou plusieurs îlots de moisissures. L'intérieur d'un grain de raisin qui

1. *Voir* p. 142-147 du présent volume : Expériences et vues nouvelles sur la nature des fermentations.

2. *Voir* tome V des Œuvres de Pasteur. (*Notes de l'Édition.*)

pourrit, ou plutôt qui moisit, ne peut donc contenir, particulièrement dans la région sous-jacente à sa pellicule moisie, du gaz oxygène dissous en quantité sensible. Le grain est à l'air, l'intérieur du grain n'y est pas et les cellules de son parenchyme, ainsi que les tubes mycéliens qui pénètrent dans le grain, se trouvent dans les conditions où ils peuvent faire produire de l'alcool au fruit. Bernard ne s'est pas rendu compte de ces faits. A deux reprises, néanmoins, il fait allusion à la formation d'alcool par les moisissures. Il dit même (Note XIV) : « Il faudra étudier ces végétations spéciales, qui sont accompagnées de la formation d'alcool, *à flots*, comme dans le cas de formation de levûre. » Mais ce qu'il omet d'indiquer, c'est l'existence constante des moisissures sur tous les grains pourris, c'est l'absence complète de toute trace de pourriture lorsque les moisissures font défaut.

A l'abri de l'air également, l'alcool se forme sans levûre, dit Bernard. Il fait ici allusion aux expériences de MM. Lechartier et Bellamy [1] et de Luca [2]. La manière dont il les interprète est aussi étrange qu'inadmissible : « Ces expériences (Note XXII) sont vraies; mais il est inutile de soustraire les feuilles et les fruits à l'air. Ils les font pourrir à l'abri de l'air, et voilà tout; mais, pourris au contact de l'air, c'est la même chose. Donc la fermentation n'est pas la vie sans air. » Ces derniers mots sont soulignés dans le manuscrit.

Tout ce que nous savons maintenant des expériences dont il s'agit ne peut autoriser en aucune façon un pareil jugement, lequel n'eût même pas été admissible lorsque les expériences dont il s'agit n'avaient encore été faites que dans la première forme que leur avaient donnée, en 1869, MM. Lechartier et Bellamy, c'est-à-dire lorsqu'ils plaçaient les fruits dans de grands vases remplis d'air, où ils étaient abandonnés pendant plusieurs mois. La modification que j'ai apportée à l'expérience de M. Lechartier consiste à plonger les fruits tout à coup dans des vases remplis de gaz acide carbonique et non d'air [3]. J'ai vu que, dans ces conditions, la formation de l'alcool apparaît dès les premiers jours qui suivent. Lorsque les fruits sont placés dans l'air, il faut que l'oxygène soit en premier lieu absorbé avant que les cellules manifestent les effets qui leur sont propres. En attendant, on ignore ce qui peut se passer à l'intérieur du fruit; mais la formation de

1. LECHARTIER et BELLAMY. Études sur les gaz produits par les fruits. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXIX, 1869, p. 356-360. — De la fermentation des fruits. *Ibid.*, p. 466-469.

2. LUCA (S. DE). Sur la fermentation alcoolique et acétique des fruits, des fleurs et des feuilles de quelques plantes. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXIII, 1876, p. 512-514.

3. *Voir* p. 387-394 et 401-402 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

l'alcool par les fruits, au moment où ceux-ci passent de l'air dans le gaz inerte, est la preuve indiscutable que ces nouveaux phénomènes relèvent d'une sorte de vie physique et chimique des cellules du fruit. On est porté d'autant mieux à expliquer ainsi les faits découverts par MM. Lechartier et Bellamy que, d'après mes observations, les feuilles, et tous les organes végétaux en général, se comportent comme les fruits. Cette vie physique et chimique des cellules doit être confondue avec celle que manifestent les ferments figurés alcooliques proprement dits lorsqu'ils sont privés d'air, et les faits dont il s'agit rentrent dès lors dans la théorie que j'ai proposée dès 1861 [1] pour l'explication de la plupart des fermentations proprement dites. Non seulement cette interprétation a été acceptée par MM. Lechartier et Bellamy, mais ils l'ont confirmée par de nouvelles expériences personnelles.

MM. Lechartier et Bellamy [2], et M. Gayon [3], à son tour, ont donné, en effet, une preuve remarquable de cette manière de voir lorsqu'ils ont eu l'idée (*Comptes rendus de l'Académie*, LXXXIV, année 1877) d'arrêter toute vie des cellules des fruits, en plaçant ceux-ci dans des vases remplis de gaz inertes et de vapeurs toxiques ou antiseptiques, ou mieux anesthesiantes, telles que le chloroforme, l'éther, le sulfure de carbone, etc. En même temps que la vie des cellules est éteinte par ces vapeurs, la formation d'alcool et le dégagement de gaz carbonique par les fruits sont suspendus.

M. Müntz [4] a fait mieux encore : il a laissé les plantes sur le sol, les a enveloppées d'une atmosphère de gaz inerte, a constaté la formation de l'alcool ; puis, replaçant les plantes dans leur état ordinaire, il les a vues continuer leur vie normale, prouvant ainsi qu'aucune altération profonde n'avait pu se produire dans leur structure intime.

Il y avait un intérêt réel à mettre en évidence, mieux encore que je ne l'avais fait antérieurement, ce qu'il y a de soudain dans les effets du passage de la vie des grains exposés à l'air à leur vie sans air. Or j'ai reconnu qu'un séjour des fruits, aussi court que possible, dans le gaz acide carbonique, suffit à faire apparaître l'alcool [5]. Je suis convaincu

1. *Voir* p. 142-147 du présent volume : Expériences et vues nouvelles sur la nature des fermentations.

2. Lechartier et Bellamy. Action des vapeurs toxiques et antiseptiques sur la fermentation des fruits *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXIV, 1877, p. 1035.

3. Gayon. Action des vapeurs toxiques et antiseptiques sur la fermentation des fruits. *Ibid.*, p. 1036.

4. Müntz. Recherches sur la fermentation alcoolique intracellulaire des végétaux. *Ibid.*, LXXXVI, 1878, p. 49-52. (*Notes de l'Édition.*)

5. Lorsque je dis que *la vie continue dans les cellules* d'un fruit, d'une feuille, d'un organe quelconque après qu'on l'a plongé dans le gaz acide carbonique, j'entends désigner

qu'en opérant sur une quantité assez grande de raisins on pourrait facilement démontrer que le caractère du phénomène se dessine au bout d'une minute et moins encore. L'échange des gaz dans le poumon et les actions chimiques qui en résultent n'ont probablement pas plus de soudaineté, et c'est là une circonstance d'un intérêt vraiment supérieur sous le rapport physiologique. Invoquer sans preuves, pour l'explication de tels résultats, le fait d'une action vague de pourriture ou de maturité avancée est tout à fait insoutenable.

J'arrive maintenant aux conclusions 2°, 3° et 4°, savoir : *que le ferment ne provient pas de germes extérieurs, que l'alcool se forme par un ferment soluble en dehors de la vie, lequel ferment soluble se trouve dans le jus retiré du fruit où l'alcool continue de se produire et d'augmenter.*

Quoique l'expression de *génération spontanée de la levûre* ne soit prononcée nulle part dans le manuscrit de Bernard, la chose s'y trouve très explicitement, à maintes reprises. Bernard y formule, en outre, une théorie de cette génération. Dans ses conceptions philosophiques, Bernard laissait volontiers sa pensée courir à l'aventure, plus qu'on ne le pense et plus qu'il ne le disait lui-même. D'une nature douce et sociable, vivant dans ce monde d'élite de l'Académie française où dominent les idées spiritualistes, il gardait volontiers, dans la conversation, et surtout la plume à la main, des ménagements vers lesquels le portait un esprit de doute bienveillant sur tout ce qui échappait à ses démonstrations. Il n'y a que des savants à l'esprit téméraire qui puissent faire parade d'une philosophie qu'ils seraient impuissants à établir. Je ne suis donc nullement surpris de trouver dans le manuscrit de Bernard une théorie de la génération spontanée, et cette conclusion que le ferment du raisin ne provient pas de germes extérieurs. Mais j'ai le droit d'être sévère lorsque je vois cette théorie reposer tout entière sur l'affirmation *que dans le jus du grain de raisin mûr il existe une force qu'il appelle* PROPRIÉTÉ PROTOPLASMIQUE, *propriété qui n'existe pas encore dans le verjus et qui est déjà tuée dans le jus des grains pourris*, dont toute la puissance enfin se manifeste dans le jus du

seulement une continuation d'actes chimiques à l'intérieur des cellules dès que les manifestations ordinaires de la vie par l'air sont suspendues. Je veux attester, ce que démontre d'ailleurs l'observation, qu'il n'y a pas arrêt subit d'actions organiques et de mutations chimiques dans les solides et dans les liquides du fruit, de la feuille, de l'organe.

Si j'osais ainsi m'exprimer, je dirais que les cellules ont un *potentiel* de vie qui ne s'éteint pas avec la suppression du gaz oxygène ni avec la vie proprement dite due à l'influence de ce gaz; je dirais que la puissance d'évolution du germe se poursuit dans le nouveau déterminisme des phénomènes et naturellement avec des résultats particuliers, au nombre desquels se rencontrent des actes de fermentation.

raisin mûr. Il suppose que cette force apparaît et grandit au fur et à mesure que la maturité se développe. En conséquence, il nomme *aplasmiques* ou *inféconds* les jus des verjus et des grains pourris, *plasmiques* ou *féconds* les jus des grains mûrs. Bernard ne se borne pas à l'hypothèse de cette force occulte. Il ajoute que cette propriété de fécondité organisatrice se manifeste exclusivement au contact de l'air; dans le grain mûr, encore sur sa grappe, elle est à l'état latent, mais, dès qu'on l'écrase et que le jus en est exposé à l'air, la propriété protoplasmique apparaît et la levûre se forme, subitement pour ainsi dire.

On pourrait ne pas croire à cet exposé des opinions de Bernard au sujet de la génération spontanée de la levûre si je ne le justifiais par des citations textuelles; je me bornerai aux suivantes :

.... La levûre ne se forme que dans les jus où existe la formation protoplasmique. Elle n'a plus lieu dans les jeunes jus (verjus). Elle n'a plus lieu dans les jus pourris, où la force plasmatique est tuée [1]. (Note XX.)

.... Dans le jus mûr protoplasmique seul, la levûre se montre avec la formation d'alcool. (Note XXIII.)

Ces hypothèses gratuites se confondent avec l'hémiorganisme de M. Fremy, avec la théorie des globulins punctiformes de M. Turpin.

J'éprouve, à la lecture de ces opinions de Bernard, autant de surprise que de chagrin : de surprise, parce que le ferme esprit que je m'étais habitué à admirer en lui est partout absent dans ce mysticisme physiologique; de chagrin, parce que notre illustre confrère fait ici très bon marché des démonstrations que j'ai données. N'avais-je pas, par exemple, dès 1872 [2], et plus particulièrement dans mes *Études sur la bière*, en 1876, décrit minutieusement le moyen d'extraire du jus de raisin de l'intérieur d'un grain, d'exposer ensuite ce jus au contact de l'air pur, et n'avais-je pas montré que, dans ces conditions, il ne se forme ni levûre ni fermentation alcoolique ordinaire?

Il m'a été pénible également de penser que tout ceci se produisait sous le patronage de mon éminent confrère M. Berthelot.

1. Chose curieuse, il se contredit tout aussitôt, car il ajoute, entre parenthèses : (Cependant addition d'eau la détermine. Avoir des jus pourris bien purs). Évidemment une addition d'eau ne peut pas créer la force plasmatique. Elle n'est donc pas tuée, comme il le dit. Ce fait seul aurait pu l'avertir qu'il ne possédait pas le déterminisme exact des phénomènes dont il parle et l'engager à rejeter ses théories *a priori*.

2. *Voir* p. 385-386 du présent volume : Nouvelles expériences pour démontrer que le germe de la levûre qui fait le vin provient de l'extérieur des grains de raisin. (*Note de l'Édition.*)

Devais-je, comme me l'avaient conseillé des amis bienveillants, laisser tomber dans l'oubli ces contradictions inattendues et m'en tenir à la protestation que j'avais lue à l'Académie des sciences dès le surlendemain de la publication du manuscrit de Bernard [1]? Je ne crus pas devoir suivre ce conseil : c'eût été me dérober à la défense de la vérité; mon abstention, d'autre part, m'eût paru peu respectueuse pour la mémoire de Bernard.

J'avais à cœur également de reprendre tout le travail de mon illustre confrère et de mettre en lumière, mieux qu'il ne paraissait avoir eu le temps de le faire, ce que pouvait renfermer d'utile et de neuf son manuscrit, et d'en prendre moi-même l'occasion de prouver une fois encore mes conclusions antérieures. Les principes sont-ils jamais trop bien établis! De plus, j'avais formé autrefois un projet dont m'avaient détourné les dépenses importantes que devait en coûter l'exécution [2]. Mes scrupules, à l'égard de ces dépenses, s'effaçaient en présence d'un incident qui atteignait sur tous les points des études auxquelles j'avais consacré déjà plus de vingt années d'efforts. Le débat intéressait d'ailleurs tout à la fois la Science et l'Académie, en mettant contradictoirement en présence les opinions de plusieurs membres de cette illustre Compagnie.

A peine avais-je fait à l'Académie ma communication du 22 juillet 1878 [3], que, sans trop de souci des crédits que j'aurais à réclamer ultérieurement, je commandai en toute hâte plusieurs serres vitrées, avec l'intention de les transporter dans le Jura, où je possède une vigne de quelques dizaines de mètres carrés. Il n'y avait pas un instant à perdre; voici pourquoi :

J'ai démontré, dans un des chapitres de mes *Études sur la bière* [ch. V], qu'il n'existe pas encore de germes de levûre sur les grappes des raisins qui sont à l'état de verjus, ce qui, dans le Jura, a lieu vers la fin de juillet. Nous sommes, me disais-je, à une époque de l'année où, grâce au retard de la végétation, dû à une saison froide et pluvieuse, les raisins sont précisément à l'état de verjus dans le canton d'Arbois. En prenant ce moment pour enfermer des pieds de vigne dans

1. *Voir* p. 552-555 du présent volume : Sur la théorie de la fermentation. (*Note de l'Édition.*

2. Au printemps de 1876, j'avais tenté de mettre à exécution mon projet (sur le blé et l'orge) dans le jardin de l'École Normale supérieure; mais un dispositif insuffisant et trop parcimonieux ne m'avait pas permis de tirer un sûr profit des résultats obtenus. Il faut dire à l'honneur du gouvernement actuel que la science, depuis quelques années, n'est plus aux prises avec la misère d'installations préjudiciables à ses progrès. L'administration a très heureusement développé et dans une large mesure les intentions libérales qui s'étaient fait jour à la fin de l'Empire, et qui, sous le ministère de M. Duruy, avaient reçu un commencement d'exécution par la création féconde de l'École des Hautes Études.

3. *Voir* p. 552-555 du présent volume : Sur la théorie de la fermentation. (*Note de l'Édition.*

des serres presque hermétiquement closes, j'aurai en octobre, pendant les vendanges, des pieds de vigne portant des raisins mûrs sans germes extérieurs des levûres du vin. Ces raisins, étant écrasés avec les précautions nécessaires pour ne pas introduire de germes de ces levûres, ne pourront ni fermenter ni faire du vin. Je me donnerai le plaisir d'en rapporter à Paris, de les présenter à l'Académie et d'en offrir quelques grappes à ceux de nos confrères qui peuvent croire encore à la génération spontanée de la levûre.

Je rappellerai que, dans mes *Études sur la bière*, j'ai montré que des grappes entières de raisins mûrs, prélevées dans des serres, pouvaient être écrasées sans qu'il y eût fermentation ultérieure de la masse. En outre, on trouvera dans cet ouvrage [chapitre V] l'alinéa suivant :

« Une autre conséquence se dégage de tous les faits que nous avons exposés relativement à l'origine des levûres du vin : c'est qu'il serait facile de cultiver un ou plusieurs ceps de vigne, de façon que *les raisins récoltés, même à l'automne*, qui auraient poussé sur ces ceps, fussent incapables de fermenter spontanément après qu'on les aurait écrasés pour en faire écouler le jus. Il suffirait de soustraire les grappes aux poussières extérieures pendant la durée de la végétation et de la maturation des grains, et de pratiquer l'écrasement dansdes vases bien purgés des germes de levûres alcooliques. Tous les fruits, tous les végétaux, se prêteraient à ce genre d'importantes recherches, dont les résultats, suivant moi, ne sauraient être douteux. »

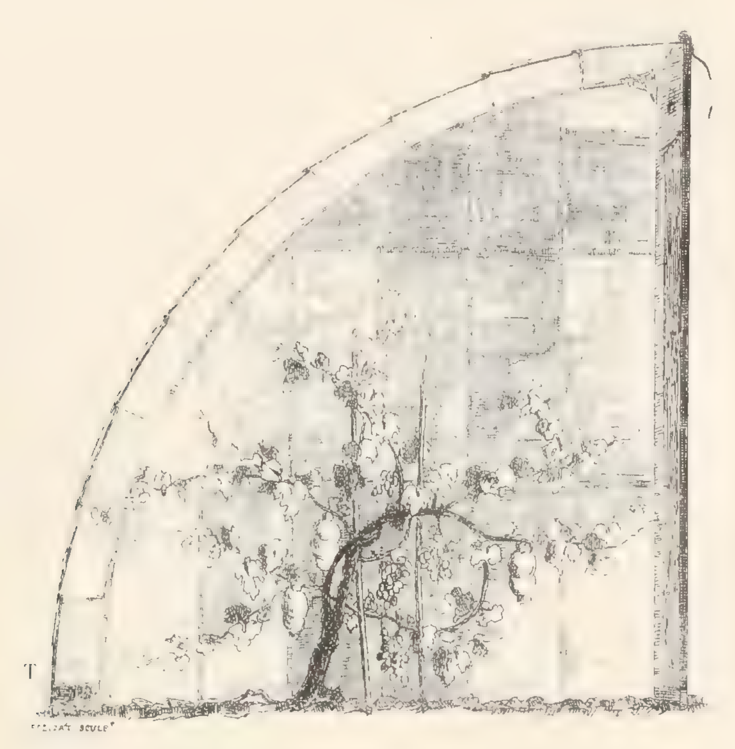
On peut se convaincre par ce passage, publié en 1876, combien peu je payais d'audace lorsque le 22 juillet 1878, deux jours après la publication de la *Revue*, j'écrivais : « Si, malgré tout ce que je viens de dire, on voulait faire de ces Notes une sorte de manifeste contre mes travaux..., malgré le profond respect que j'ai toujours eu pour notre illustre confrère, je dirais franchement que Bernard s'est trompé, que toutes les expériences dont il parle, souvent d'ailleurs de son propre aveu, sont douteuses et incertaines et que, suivant moi, celles qui sont vraies sont mal interprétées » (1).

Le 4 août 1878, grâce à l'empressement et à l'habileté de M. Oscar André, constructeur, mes serres étaient achevées, prêtes à être montées. Le travail de montage des fers et de la vitrerie fut terminé en quelques jours.

Pendant et après l'installation des serres, je recherchai avec soin

1. *Voir* p. 552-555 du présent volume : Sur la théorie de la fermentation. (*Note de l'Édition.*)

si les germes de la levûre étaient reellement absents sur les grappes de verjus, comme je l'avais reconnu autrefois et comme on peut en voir le détail dans mes *Études sur la bière.* Le résultat fut celui que j'avais



Serre réduite au $\frac{1}{25}$.



Grappe libre



Grappe enveloppée.

prévu; dans un grand nombre d'essais, je constatai que les verjus des vignes, dans le canton d'Arbois, et notamment ceux qui recouvraient les pieds placés sous les serres, ne portaient pas trace de germes de levûre au commencement du mois d'août 1878.

Dans la crainte qu'une fermeture insuffisante des serres n'amenât

des germes sur les grappes, j'eus la précaution, tout en laissant quelques grappes libres, d'en enfermer un certain nombre sur chaque pied avec du coton qui avait été porté à la température de 150° environ.

Les figures ci-jointes [p. 543] représentent, à l'échelle de $\frac{1}{25}$, une des serres dont j'ai fait usage et l'aspect des grappes enveloppées de coton ou libres. En T et en *t* j'avais réservé de petites ouvertures pour la circulation de l'air. Il eût été prudent de garnir ces ouvertures avec de la ouate. J'avais omis de le faire et il n'en est pas résulté d'inconvénients appréciables pour le succès des expériences.

De retour à Paris le 16 août, j'attendis patiemment l'époque de la maturité des raisins. Je revins dans le Jura le 17 septembre, très anxieux de connaître l'état des ceps de vigne enfermés. Au premier regard jeté sur les grappes, je fus douloureusement impressionné. Comme j'avais blanchi au blanc de céruse toutes les vitres, afin de calmer l'ardeur du soleil des mois d'août et de septembre, il arriva que les raisins des pieds de vigne sous les serres, pour les divers cépages en expérience et par les motifs que je vais faire connaître, étaient, pour ainsi dire, restés entièrement à l'état de verjus. Je craignis dès lors de ne pas voir mûrir mes précieux raisins et que tout fût à reprendre une autre année.

Voici le singulier phénomène de végétation qui s'était produit entre le jour de mon départ d'Arbois, le 16 août, et le jour de mon retour, le 17 septembre. Sous l'influence, sans nul doute, de la chaleur obscure et humide des jours où le soleil avait dardé sur les serres blanchies, une végétation exubérante s'était produite. De longs rameaux couverts de belles feuilles, et même de petits raisins nouveau-venus dont les grains n'avaient que la grosseur de têtes d'épingle notamment sur un pied de *ploussard* [1] s'étaient développés. Pour employer le langage des vignerons du pays, la *force* de la vigne s'était portée sur le *bois*, sur les rameaux, sur les feuilles, et non sur les grappes, qui n'avaient, en quelque sorte, nullement profité de la sève et de la chaleur. L'arrêt de la maturation était plus marqué pour les grappes recouvertes de coton que pour les grappes libres, où il était cependant fort sensible. Comme sous les tropiques, la végétation foliacée avait nui à la formation et à la maturation des fruits.

Mais, dans la seconde quinzaine de septembre et la première quinzaine d'octobre, avec une chaleur plus douce et une terre plus sèche,

1. Ou « pulsard », plant spécial à la région d'Arbois. Les vignerons disent, de préférence, « ploussard ». (*Note de l'Édition.*)

j'eus la satisfaction de voir les choses changer du tout au tout. Ce furent les raisins cette fois, et non les rameaux, qui profitèrent de l'état de la saison, les raisins qui étaient *encotonnés* comme ceux qui étaient libres. Il n'y eut de différence entre ces deux sortes de grappes que sous le rapport de la coloration des grains.

Vers le 10 octobre, les raisins des serres étaient mûrs ; à travers la peau des grains on distinguait nettement les pépins, et, au goût, ils étaient aussi sucrés que la plupart des raisins en pleine vigne ; seulement, sous le coton, les raisins, naturellement noirs, étaient à peine colorés, plutôt violacés que noirs, et les raisins blancs n'avaient pas la teinte jaune dorée des raisins blancs exposés au soleil. Néanmoins, je le répète, la maturité des uns et des autres ne laissait rien à désirer.

Le 10 octobre, je fis ma première expérience sur les grains des grappes libres et sur ceux des grappes recouvertes de coton comparativement avec les grains des grappes restées en plein air. Le résultat dépassa, pour ainsi dire, mon attente. Les tubes à grains des grappes de plein air fermentèrent par les levûres du raisin après trente-six ou quarante-huit heures de séjour dans une étuve dont la température variait entre 25 et 30° ; pas un, au contraire, des nombreux tubes à grains des grappes recouvertes de coton n'entra en fermentation par les levûres alcooliques, et, chose remarquable, il en fut de même pour les grains des grappes libres sous les serres. C'était l'expérience déjà décrite dans mes *Études sur la bière*.

Les jours suivants, je répétai ces expériences et j'obtins les mêmes résultats. Aujourd'hui encore, après une multitude d'essais, j'en suis au même point, c'est-à-dire qu'il m'a été impossible d'obtenir *une seule fois* la fermentation alcoolique par les levûres à l'aide des grappes recouvertes de coton, et, quant aux grappes libres des mêmes pieds, je n'ai eu qu'un seul exemple de fermentation par la levûre que j'ai décrite autrefois dans un des bulletins de la Société chimique pour 1862 [1], et qui a reçu depuis, du Dr Reess, le nom de *levûre apiculée*.

Une seconde expérience comparative se présentait naturellement à l'esprit. Ainsi que je l'ai expliqué tout à l'heure, cette expérience des serres repose sur le fait établi dans mes *Études sur la bière*, savoir : que, dans le Jura, jusqu'à la fin de juillet et la première quinzaine d'août, quand la saison est un peu retardée, les verjus ne portent pas

1. *Voir* p. 150-158 du présent volume : Quelques faits nouveaux au sujet des levûres alcooliques. (*Note de l'Édition.*)

du tout, à la surface de leurs grains ou du bois de leurs grappes, de germes des levûres alcooliques qui font fermenter le raisin à l'époque de la vendange ; que les grappes de raisin mûr, au contraire, grains et surtout bois de la grappe (lesquels bois sont moins exposés au lavage par la pluie), en sont recouverts çà et là. Lorsque les serres furent montées, nous étions à la première époque, à celle de l'absence des germes ; au moment des expériences dont je viens de rendre compte, du 10 au 31 octobre, nous étions, au contraire, dans la période de la présence des germes. Il était donc présumable que si je détachais des grappes des serres, recouvertes de coton, pour les exposer, leur coton enlevé, à des branches de ceps de la vigne restés en plein air, ces grappes, qui tout à l'heure ne pouvaient pas entrer en fermentation après l'écrasement de leurs grains, fermenteraient sous l'influence des germes qu'elles ne manqueraient pas de recevoir dans leur nouvelle position. Tel fut précisément le résultat que j'obtins.

J'ai tenu à présenter à l'Académie des sciences un certain nombre des grappes de mes serres, les unes libres, les autres encore *encotonnées* depuis le 15 août, et sur lesquelles il eût été facile à ceux de nos confrères que ces expériences pouvaient intéresser de reproduire les faits que je viens d'annoncer. Cette présentation eut lieu le 25 novembre 1878 [1].

Qu'il me soit permis d'entrer ici dans une digression expérimentale très digne d'intérêt. Les grappes des raisins mûrs, ai-je dit, portent extérieurement les germes des ferments qui font le vin dans la cuve et dans les tonneaux du vigneron, ferments qui font partie du genre *saccharomyces*. Dès lors, n'est-il pas vraisemblable qu'à l'époque des vendanges les pluies doivent ramasser beaucoup de ces germes et les répandre sur le sol de la vigne ? L'expérience confirme ces prévisions. Ayant déposé de très petites parcelles de terre d'une vigne dans des séries de tubes qui contenaient du moût de raisin conservé par une ébullition préalable, j'ai vu ce moût, dans beaucoup de tubes de chaque série, entrer en fermentation alcoolique. Sans nuire même au succès de l'expérience, on pouvait prélever les parcelles de terre assez profondément dans le sol, à 10 et 15 centimètres. Ce qui est plus fréquent encore dans ce genre d'essais, c'est la fermentation alcoolique par les levûres du genre *mucor*, tant sont abondantes dans la terre cultivée les spores de ces petites plantes.

1. Voir p. [illegible]-567 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

J'ai eu la curiosité de comparer, sous ce point de vue de la présence des spores des levûres de raisin et des spores de *mucor*, la terre de la vigne et la terre que recouvraient mes serres. Or, avec la terre des serres, je ne vis jamais se produire dans mes tubes, quoique l'expérience eût été faite un grand nombre de fois, la fermentation alcoolique due aux levûres alcooliques du raisin; très fréquemment, au contraire, se montra la fermentation par la levûre de *mucor*.

Que de réflexions font naître ces résultats, et peut-on se défendre de faire observer que plus on pénètre dans l'étude expérimentale des germes, plus on y entrevoit de clartés imprévues et d'idées justes sur la connaissance des causes des maladies par contage! N'est-il pas très digne d'attention que, dans ce vignoble d'Arbois, et cela serait vrai des millions d'hectares des vignobles de tous les pays du monde, il n'y ait pas eu, à l'époque où j'ai fait les expériences dont je viens de rendre compte, une parcelle de terre, pour ainsi dire, qui ne fût capable de provoquer la fermentation par une levûre du raisin, et que, par contre, la terre des serres dont j'ai parlé ait été impuissante à remplir cet office? et pourquoi? Parce que, à un moment déterminé, j'ai recouvert cette terre par quelques vitres. La mort, si j'ose ainsi parler, d'un grain de raisin qui eût été jeté alors sur un vignoble quelconque aurait pu arriver infailliblement par les parasites *saccharomyces* dont je parle; ce genre de mort eût été impossible, au contraire, sur les petits coins de terre que mes serres recouvraient. Ces quelques mètres cubes d'air, ces quelques mètres carrés de surface du sol, étaient là au milieu d'une contagion universelle possible, et ils ne la craignaient pas depuis plusieurs mois. Mais, quant à la maladie et à la mort des grains par les parasites des *mucor*, à quoi eût servi l'abri des serres? A rien. Les parasites des *saccharomyces* venant de l'extérieur à une époque déterminée de l'année, un abri mis à temps avait pu les éloigner, comme on préserve l'Europe du choléra, de la peste... par des quarantaines. Les parasites *mucor* existant, au contraire, en permanence, pendant toute l'année dans la terre de nos champs et de nos vignes, ils se trouvaient nécessairement sous les serres, au moment de l'établissement de celles-ci, pareils, à certains égards, aux germes de nos maladies contagieuses communes, contre lesquelles ne sauraient agir évidemment les quarantaines qu'on oppose au choléra, à la fièvre jaune ou à la peste.

N'est-il pas permis de croire, par analogie, qu'un jour viendra où des mesures préventives d'une application facile arrêteront ces fléaux qui, tout à coup, désolent et terrifient les populations, telle l'effroyable maladie (fièvre jaune) qui a envahi récemment le Sénégal et la vallée

du Missisipi ou cette autre la peste à bubons, plus terrible peut-être, qui a sévi sur les bords du Volga!

Je terminais la seconde lecture que j'ai faite à l'Académie le 29 juillet dernier [1], touchant le manuscrit de Claude Bernard, par la promesse de répéter ses expériences en me plaçant dans le courant même de ses idées préconçues et en leur donnant une ampleur de résultat digne du sujet et du respect que nous devons à sa mémoire. Je crois avoir tenu parole. J'ose espérer également que le lecteur reconnaîtra que la doctrine des germes extérieurs se trouve de nouveau établie de manière à satisfaire les esprits les plus rebelles. Toutefois, ce n'est là encore que le renversement de l'une des conclusions de Bernard, celle relative à la génération spontanée de la levûre par l'étrange hypothèse de la propriété plasmatique des grains de raisins mûrs.

Il me reste à discuter la plus importante peut-être des propositions du manuscrit de l'illustre physiologiste, celle de l'existence d'un ferment soluble qu'il a résolue dans ses conclusions par cette assertion hardie : « *L'alcool se forme par un ferment soluble, en dehors de la vie, dans les fruits pourris ou mûrissants.* » Si cette conclusion exclut toute hésitation, on trouve, en revanche, bien peu de netteté dans les observations par lesquelles Bernard essaye d'en donner une preuve expérimentale. Celle qu'il se plaît à invoquer et sur laquelle il revient à maintes reprises consiste à écraser les grains de raisins mûrs, sains ou pourris, à les exprimer et à les filtrer jusqu'à parfaite limpidité, puis à comparer d'une manière approchée les quantités d'alcool des liquides après leur filtration et des mêmes liquides après qu'ils ont été abandonnés pendant quarante-huit heures environ. Bernard trouve que, dans cet intervalle de temps, l'alcool augmente, quoique les liquides restent limpides. L'expérience est plus délicate qu'on ne l'imagine à première réflexion. Si l'on attend plus de quarante-huit heures, et souvent même un temps moindre, les liquides ne tardent pas à se troubler par un développement de levûre alcoolique, même avec les jus des grains pourris, quoi qu'en dise Bernard, qui signale seulement dans ce cas la formation de moisissures. Ce développement de levûre, on le conçoit, n'est pas tout de suite très apparent. Si peu qu'on soit presbyte, et Bernard l'était devenu beaucoup dans les dernières années de sa vie, on peut croire au maintien de la limpidité parfaite des liquides, alors que déjà sur le fond des vases il s'est formé

1. Voir p. [illegible]-558 du présent volume : Nouvelle communication au sujet des Notes sur la fermentation alcoolique, trouvées dans les papiers de Claude Bernard. (*Note de l'Édition.*)

de petites quantités de levûre. Quoique Bernard soit absolu dans sa conclusion au sujet du fait dont il s'agit, tout lecteur attentif du manuscrit se persuade aisément qu'aucune des expériences qu'il mentionne n'est vraiment décisive sur le point capital de l'augmentation de l'alcool dans les moûts filtrés abandonnés à eux-mêmes. On sent partout, dans l'exposé des faits, que Bernard n'est pas maître de son affirmation.

Dans la Note XVIII, il dit :

Ce qu'il y a de certain, c'est qu'au moment où apparaît le trouble du liquide avec des grains de ferment rares et petits il y a beaucoup d'alcool, de sorte que l'alcool semble avoir précédé le ferment.

Dans la Note XV, son doute est plus accentué encore :

Quand on laisse le jus exprimé et séparé du grain de raisin s'altérer spontanément, les traces d'alcool deviennent à un moment, brusquement, beaucoup plus considérables, mais il se forme toujours de la levûre; il m'a été jusqu'ici impossible d'éviter son apparition.

On le voit alors tourmenté d'un désir sur lequel il revient sans cesse, pour ainsi dire ;

La question serait d'empêcher le ferment d'apparaître et de permettre à l'alcool de se faire. (Note XVIII.)

En résumé, il s'agirait de pouvoir faire avec le jus de raisin séparé et filtré l'expérience de la pourriture : faire apparaître de l'alcool en grande quantité sans germes. (Note XV.)

Et, pour y parvenir, il se pose à lui-même ce *desideratum* :

En un mot, il s'agirait d'imiter le procédé de la pourriture dans le jus séparé : mettre le jus de raisin dans une membrane, coquille d'œuf, etc., qui filtre l'air. Cela doit être possible, ajoute-t-il, car il faut prouver que la formation de l'alcool est indépendante de la présence de toute cellule. C'est là derrière que Pasteur se retranche pour dire que la fermentation est la vie sans air.... (Note XV.

Comme ces passages du manuscrit de Bernard, le dernier principalement, font bien ressortir la tyrannie de ses idées préconçues ! Il ne cherche pas ceci ou cela, sans parti pris, ce qui est, ce qui arrive en un mot, c'est-à-dire la vérité : il veut trouver ceci ou cela parce qu'il a imaginé que ceci ou cela doit être. C'est bien à cette disposition d'esprit qu'on peut appliquer cette parole de Bossuet : « Le plus grand dérèglement de l'esprit, c'est de croire les choses parce qu'on veut qu'elles soient », admirable principe de philosophie pratique qu'on devrait graver au frontispice de tous les laboratoires.

Ces façons de VOULOIR que les choses soient me rappellent également la condamnation superbe qui en a été faite par Buffon, lorsqu'à l'âge de vingt-huit ans, venant de traduire la *Statique des végétaux* de Hales [1], il méditait les travaux des grands observateurs du XVIIe siècle : « .... C'est par des expériences fines, raisonnées et suivies, dit Buffon, qu'on force la nature à découvrir son secret.... Il ne s'agit pas, pour être physicien, de savoir ce qui arriverait dans telle ou telle hypothèse, en supposant, par exemple, une matière subtile, des tourbillons, une attraction, etc. Il s'agit de bien savoir ce qui arrive et de bien connaître ce qui se présente à nos yeux ; la connaissance des effets nous conduira insensiblement à celle des causes, et l'on ne tombera plus dans les absurdités qui semblent caractériser tous les systèmes.... » [2].

En octobre 1877, Claude Bernard avait, en quelque sorte, fait table rase de ces règles immuables de la vraie méthode expérimentale, qu'il avait cependant, lui aussi, à tant de reprises, exposées avec éloquence et appliquées avec rigueur.

Mais revenons à l'assertion de Bernard. Il est aisé de comprendre que les raisins de nos serres permettent la solution du problème qui le hantait et le tourmentait si fort. Nous possédons, en effet, des raisins mûrs, aussi mûrs qu'il eût pu les désirer, qui ne portent aucun germe de levûre. Dès lors, nous pouvons répondre à toutes ses préoccupations et *faire apparaître de l'alcool en grande quantité sans germes*, si tant est que la chose soit possible.

Le 10 octobre je me rends dans une de mes serres, muni de filtres, d'entonnoirs et de vases, le tout flambé préalablement. Je détache la plus belle des grappes recouvertes de coton, et, après avoir enlevé l'enveloppe, j'écrase les grains et le bois de la grappe avec une baguette de verre terminée par une tête plate et flambée, puis je filtre et je rapporte le vase rempli d'air et de moût limpide dans le réduit qui me servait de laboratoire. Après m'être rendu compte, sur une portion de ce moût filtré, de la quantité d'alcool qu'il pouvait contenir et ayant reconnu qu'il n'en présentait que des traces douteuses, j'abandonnai le restant pendant quatre jours à la température de 25-30°. Je rappelle, en passant, que toutes les expériences de Bernard n'avaient pu avoir qu'une durée maximum de quarante-huit heures, à une température de moins de 10°. Le quatrième jour, je recherche l'alcool et je trouve que les caractères de la distillation sont exactement ceux du

1. HALES. La statique des végétaux et l'analyse de l'air. Ouvrage traduit de l'anglais par M. de Buffon. *Paris*, 1735, XXVI-408 p. in-4° (fig.).

2. BUFFON. Préface de « La statique des végétaux », p. V. (*Notes de l'Édition.*)

début : traces douteuses d'alcool. Donc, pas de germes sur les grappes, pas de fermentation possible dans le moût filtré. Plusieurs épreuves ultérieures semblables donnèrent le même résultat.

La question du ferment soluble est tranchée : il n'existe pas; Bernard s'est fait illusion.

Dans la longue série d'observations à laquelle je me suis livré dans le Jura, j'ai rencontré un fait nouveau qui a pu contribuer dans une certaine mesure à induire notre confrère en erreur. J'ai reconnu que les grains de raisin écrasés absorbent l'oxygène de l'air, et que, par suite de cette oxydation, il se forme des produits éthérés alcooliques en quantité faible, mais non douteuse. Cet effet commence avec l'oxydation et s'arrête avec elle; mais il est nul pour le moût de raisin limpide. Or, c'est avec les moûts de raisins filtrés que Bernard a fait ses expériences sur le développement du ferment soluble. On comprend néanmoins que dans certaines circonstances, mal déterminées, il ait pu attribuer à de tels moûts ce qu'il avait pu observer sur un ensemble de grains écrasés.

Le fait que je signale, et sur lequel j'espère revenir ultérieurement, est lié à la présence de ces produits oxydables, dont M. Boussingault le premier, M. Berthelot ensuite et moi-même, nous avons reconnu l'existence dans les vins.

Je crois pouvoir dire, en terminant, qu'il ne reste du manuscrit de Bernard qu'une tentative stérile de substituer à des faits bien établis les déductions d'un système éphémère. La gloire de notre illustre confrère ne saurait en être diminuée. Les erreurs de ceux qui, dans les sciences, ont parcouru vaillamment la carrière n'ont que l'intérêt philosophique qui s'attache à notre humaine faiblesse. « Les hommes ne sont grands que par les services qu'ils ont rendus », maxime que je suis heureux d'emprunter à l'une des pages du dernier ouvrage que Bernard nous a laissé en mourant. Et puis, serait-il équitable de juger en quelque chose notre grand physiologiste sur les défaillances d'un écrit non signé, dont il n'avait ni demandé ni autorisé la publication et qui a été retrouvé, après sa mort, « soigneusement caché », comme nous l'a appris M. Berthelot?

APPENDICE

Note lue à l'Académie des sciences, le 22 juillet 1878, le surlendemain de la publication du manuscrit de Bernard :

SUR LA THÉORIE DE LA FERMENTATION [1]

Je viens de lire, dans le dernier numéro de la *Revue scientifique*, un article intitulé : *La fermentation alcoolique, dernières expériences de Claude Bernard* [2].

C'est à notre confrère M. Berthelot que l'on doit la mise au jour de ces Notes diverses, écrites de la main de l'illustre physiologiste pendant le mois d'octobre 1877, retrouvées accidentellement dans ses papiers par l'un de ses jeunes préparateurs, M. d'Arsonval.

L'intérêt que j'ai pris à ces Notes, ai-je besoin d'en parler, puisqu'elles portent sur un sujet qui m'occupe depuis plus de vingt années et qu'elles sont de Claude Bernard ? Je dois avouer, toutefois, que cet intérêt n'a pas été pour moi sans un mélange de grande surprise. De la première ligne à la dernière, en effet, elles ont pour objet le contrôle de faits et de conclusions que j'ai souvent produits devant cette Académie, et les vingt dernières lignes sont la condamnation absolue, sans restriction aucune, de mes vues au sujet de la fermentation en général et de la fermentation alcoolique en particulier. Voici ces conclusions :

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 22 juillet 1878, LXXXVII, p. 125-128.
2. *Revue scientifique*, 20 juillet 1878, 2e sér., XV, p. 49-56. (*Note de l'Édition.*)

Saint-Julien, 20 octobre 1877.

Théorie de la fermentation alcoolique.

La théorie est détruite :

1° Ce n'est pas la vie sans air, car à l'air, comme à l'abri de son contact, l'alcool se forme sans levûre.

2° Le ferment ne provient pas de germes extérieurs, car, dans les jus aplasmiques ou inféconds (verjus et jus pourris), le ferment ne se développe pas, quoiqu'ils soient sucrés. Si l'on y ajoute du ferment, alors ils fermentent.

3° L'alcool se forme par un ferment soluble en dehors de la vie dans les fruits mûrissants ou pourris; il y a alors décomposition du fruit et non synthèse biosique de levûre ou de végétation. L'air est absolument nécessaire pour cette décomposition alcoolique.

4° Le ferment soluble se trouve dans le jus retiré du fruit (jus pourri); l'alcool continue à s'y former et à augmenter.

Avec l'infusion de levûre ancienne, la démonstration devient encore plus facile.

5° Il y a dans la fermentation deux états à étudier :

A. Décomposition ;

B. Synthèse morphologique.

Ma surprise s'est accrue lorsque j'ai remarqué que toutes ces Notes ont été écrites par Claude Bernard du 1er au 20 octobre dernier, à sa campagne de Saint-Julien, près de Villefranche, que Claude Bernard a passé le mois de novembre et le mois de décembre parmi nous, assistant, très bien portant, à nos séances, assis près de moi, vous le savez. Or il ne m'a pas dit un seul mot de ses nouvelles expériences. N'est-il pas étrange que lui, si franc, si ouvert, si porté vers la libre discussion, qui n'a cessé de me témoigner la plus bienveillante affection, qui chaque semaine, pour ainsi dire, causait avec moi, à cette place, sur la fermentation, ait eu par devers lui, en revenant de Saint-Julien à la fin d'octobre, des preuves convaincantes que j'étais entièrement dans l'erreur, et qu'il me l'eût caché sans y faire même la moindre allusion? Cela ne me paraît pas possible : aussi je me demande si les éditeurs de ces Notes n'ont pas trouvé que c'est chose fort délicate de prendre sur soi, sans y être formellement autorisé par l'auteur, de mettre au jour des Notes et des cahiers d'études? Qui d'entre nous ne serait ému à la pensée qu'on agira de même à son égard?

L'existence de ces Notes, l'énorme disproportion entre les conclusions et les faits qui les motivent me semblent avoir une explication très différente de celle que M. Berthelot a suggérée aux lecteurs de la *Revue scientifique*, en les invitant à croire, d'après des on-dit, que

« les déclarations de Claude Bernard, quelques jours avant sa mort, étaient tout à fait conformes aux affirmations générales des Notes de Saint-Julien ». Contrairement à cette assertion de M. Berthelot, je suis porté à croire que Claude Bernard n'a fait, pendant ces quinze jours du mois d'octobre 1877 et en novembre et décembre, que s'essayer sur le sujet de la fermentation alcoolique.

Qu'il fût préoccupé, lui, le grand physiologiste, de ces deux propositions résultant de mes travaux :

1° Il y a une vie sans air, sans intervention quelconque du gaz oxygène libre;

2° Toutes les fois qu'il y a vie sans air, la fermentation se manifeste;

Qu'il en fût préoccupé, dis-je, personne n'oserait le contester.

Ces deux principes que jamais Claude Bernard n'a mis en doute, à ma connaissance, il se proposait, sur mon invitation même, de les transporter dans la physiologie animale; il se proposait d'en faire l'objet d'un de ses cours. « *Préparez-vous*, disait-il pendant sa maladie à l'un de ses chers disciples, M. Dastre, *je prendrai cette année pour sujet d'un de mes cours l'étude de la fermentation. Nous irons voir Pasteur et travailler avec lui dans son laboratoire.* » Dès lors j'imagine que comme méthode de travail, méthode excellente dans tous les cas, et pour savoir si j'étais dans le vrai, j'imagine qu'il ne trouva rien de mieux que de chercher par de nombreuses expériences et d'essayer par certaines vues préconçues à mettre en défaut mes opinions et mes résultats. Prendre pour guide cette idée que j'étais sur tous les points dans l'erreur, instituer des expériences pour l'établir, telle a dû être sa méthode de préparation sur le sujet qu'il voulait traiter.

N'est-ce point là l'explication de ces Notes que M. Berthelot vient de publier, et du silence que Claude Bernard a gardé vis-à-vis du confrère qu'elles intéressaient le plus?

C'eût été mon appréciation et celle de plusieurs amis intimes de Claude Bernard si nous avions été consultés avant qu'on livrât ces Notes à la publicité.

Si, malgré tout ce que je viens de dire, on voulait faire de ces Notes une sorte de manifeste contre mes travaux, prétendre que Claude Bernard ait été convaincu de la vérité des conclusions que j'ai rappelées tout à l'heure, alors, et malgré le profond respect que j'ai toujours eu pour notre illustre confrère, je dirais franchement que Bernard s'est trompé, que toutes les expériences dont il parle, souvent d'ailleurs de son propre aveu, sont douteuses et incertaines, et que, suivant moi, celles qui sont vraies sont mal interprétées.

Toutefois, je comprends trop le respect qui doit s'attacher à ce qu'a pensé et écrit, même dans le silence du laboratoire, notre illustre ami, pour me permettre de signaler dès à présent ce que je trouve de très défectueux dans ces Notes, à les prendre dans leur texte absolu. Je veux d'abord les revoir expérimentalement, me placer dans le courant même des idées et des expériences de Claude Bernard, et je convie ses amis, ses admirateurs à agir de même. Ils me donneront ainsi l'occasion de défendre la vérité que j'attribue à mes travaux, en présence d'opinions réelles et réellement exprimées.

Le 29 juillet, je fis à l'Académie une

NOUVELLE COMMUNICATION AU SUJET DES NOTES SUR LA FERMENTATION ALCOOLIQUE, TROUVÉES DANS LES PAPIERS DE CLAUDE BERNARD [1]

Dans la lecture que j'ai faite à l'Académie, il y a huit jours, au sujet d'un manuscrit trouvé dans les papiers de Claude Bernard, je me suis efforcé de dégager la responsabilité de notre cher et regretté confrère.

M. le Dr Armand Moreau, membre de l'Académie de médecine, pour qui Bernard avait autant d'estime que d'amitié, m'a fait l'honneur de m'écrire une lettre qui est conforme aux inductions que j'avais présentées lundi dernier, mais où la méthode d'investigation habituelle de Claude Bernard est exposée de manière à intéresser l'Académie.

Voici les principaux passages de cette lettre :

La Note que vient de donner la *Revue scientifique*, dans son numéro du 20 juillet, au sujet des fermentations, n'a été connue de moi que par cette publication.

On trouve bien dans cette Note la préoccupation habituelle de Cl. Bernard, qui conseillait de mettre en doute toutes les théories. Il répétait souvent : « Il faut toujours chercher *à se démolir.* » Il nous faisait entendre

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 29 juillet 1878, LXXXVII, p. 185-188.

par là, sans s'expliquer davantage, que les théories ne méritent confiance qu'autant qu'elles résistent aux objections et aux attaques.

C'est donc prudence et sagesse que d'en chercher les points faibles. Il nous racontait l'anecdote de Faraday, qui, ayant admis dans son laboratoire M. Henri Sainte-Claire Deville, passait journellement près de lui sans lui adresser la parole; cependant un jour il s'arrêta et lui dit : « Ne vous étonnez pas si je ne vous parle pas, je suis très occupé d'un travail et je fais des hypothèses qui vous paraîtraient tellement absurdes, que j'aime mieux ne pas vous les dire. »

Claude Bernard, lui aussi, était hardi pour imaginer, mais nullement enclin à publier ses hypothèses. Il n'avait pour elles aucune faiblesse. « Que m'importe, disait-il, que ce soit blanc ou noir! Si je trouve autre chose que ce que j'ai supposé, cela n'en est que plus intéressant. A quoi bon, disait-il encore, parler des hypothèses? Si elles sont bonnes, elles font trouver des faits nouveaux, et ce sont ces faits qu'il y a lieu de publier. Si elles sont mauvaises, c'est encombrer la Science que d'en parler. »

Si donc, dans l'intimité des conversations avec ses amis et dans le secret plus intime encore de Notes jetées sur le papier et soigneusement mises de côté, il développe un plan de recherches en vue de juger une théorie, s'il imagine des expériences, il est résolu à n'en parler qu'autant que les expériences seront bien claires, auront été vérifiées : on ne saurait donc prendre dans ses Notes les propositions formulées même de la façon la plus expresse sans se rappeler que tout est projet et qu'il devait recommencer les expériences déjà faites.

J'ai eu la curiosité de voir le manuscrit même de Claude Bernard. M. d'Arsonval voulut bien m'aider à le collationner avec l'édition qui en a été donnée par la *Revue scientifique*. J'ai constaté que l'article de la *Revue*, sans doute par les nécessités de l'impression, renferme des changements nombreux. Il en résulte que l'édition imprimée rend mal et d'une manière fort incomplète ce caractère de Notes de premier jet, cette négligence de style, cet air, enfin, de programme d'expériences à entreprendre plutôt qu'elles ne sont entreprises, qui caractérisent ce manuscrit.

Ne pouvant signaler toutes les modifications qui ont été faites, j'en citerai seulement quelques-unes.

En marge des premières feuilles se trouve un programme ébauché du cours que Claude Bernard devait faire cette année au Jardin des Plantes. La *Revue scientifique* a supprimé ce programme, qui est, en effet, illisible en plusieurs endroits; mais il est assez clair, cependant, pour que la part que Claude Bernard devait faire dans ce cours aux phénomènes de la fermentation y soit nettement indiquée. Il se termine ainsi : « *Puis, à propos de nutrition, parler des fermentations, de la génération et de l'innervation.* »

On croyait généralement, sur la foi d'articles de journaux et de

conversations, après la mort de Claude Bernard, qu'il devait faire un cours entier sur la fermentation en 1878, ce qui aurait supposé, de sa part, une longue préparation et des recherches personnelles fort étendues. On voit, au contraire, par le passage du manuscrit que je viens de citer, que la fermentation devait former un seul des chapitres de son enseignement ; et, à ce propos, je dois ajouter que M. d'Arsonval m'a assuré que, nombre de fois et sous diverses formes, Claude Bernard lui avait dit qu'il ne commencerait pas ses leçons sur la fermentation avant d'avoir discuté avec moi ses opinions et ses résultats. J'ai interrogé, d'ailleurs, trois des personnes qui ont reçu les confidences de Claude Bernard : MM. Armand Moreau, Dastre et d'Arsonval. Toutes trois m'ont affirmé que, en ce qui concerne mes études, Bernard s'exprimait invariablement ainsi : « *Les expériences de M. Pasteur sont exactes, mais il n'a vu qu'un côté de la question.* » C'est la seule critique qu'on lui ait entendu faire. Certes, elle est bien vague et bien générale. Tous, tant que nous sommes, nous ne voyons jamais qu'un côté des choses.

Un alinéa de plusieurs lignes a été supprimé par la *Revue scientifique*. Bernard se demande pourquoi du ferment pourri (jus pourri) laissé à l'air avec les grappes donne lieu à de la levûre, tandis qu'il ne s'en forme pas dans le liquide. Il hésite à répondre et indique des expériences à suivre sur ce point. L'expression de ce doute importait au lecteur, qui avait à décider jusqu'à quel point Claude Bernard était prêt pour affirmer que les conclusions de mes travaux sont erronées.

Partout abondent dans le manuscrit les preuves qu'il ne s'agit ici que d'expériences à peine commencées, que Bernard devait revoir et contrôler. Ainsi l'expérience V, datée du 8 octobre 1877, se termine par les lignes suivantes, que la *Revue* a supprimées, bien qu'elles soient fort lisibles : « Faire gonfler dans de l'eau des raisins confits. Aura-t-on un jus analogue à celui des raisins pourris ? Mettre jus de raisin dans un œuf comme un grain de raisin et sa pellicule. Air filtré. » Suit un petit dessin informe, avec ces mots : « Un appareil avec coton à filtrer au soleil. »

Voici une autre phrase où mon nom est prononcé : « Pasteur ne répond pas ou répond mal à l'objection de l'air fermé dans l'expérience de Gay-Lussac. » On lit dans le manuscrit : « Pasteur ne répond pas ou répond mal à l'objection de l'air *formé par la pile* dans l'expérience de Gay-Lussac. » La phrase ici est intelligible; elle ne l'est pas dans l'édition de la *Revue*.

Jusque dans les conclusions finales, la *Revue* a fait un contre-sens. La *Revue* dit : « *L'alcool se forme par un ferment soluble en dehors de*

la vie dans les fruits mûrissants ou pourris, il y a alors décomposition du fruit et non, etc.... » Le manuscrit porte : « *L'alcool se forme par un ferment soluble en dehors de la vie.... Dans les fruits pourris ou mûrissants il y a alors décomposition du fruit et non*, etc.... »

Enfin, la signature de Claude Bernard termine le texte imprimé, tandis qu'en réalité on ne la trouve nulle part au bas des Notes.

Quoi qu'il en soit, je suis complètement de l'avis de notre éminent confrère M. Berthelot. Ce manuscrit est « un document important », très important même pour l'histoire des idées de Claude Bernard sur la physiologie de la cellule et pour l'histoire des théories de la fermentation; mais, en jugeant les choses dans toute leur sincérité, j'aurais désiré que la publication du manuscrit eût été très fidèle, que de plus elle eût été suivie d'un commentaire expérimental de la part des éditeurs de ces Notes. Ils auraient eu ainsi l'occasion de reporter à Bernard l'honneur de ce qu'il peut y avoir de bon dans son manuscrit, en dégageant sa responsabilité pour ce qu'il renferme d'incomplet et de défectueux, et à moi ils m'auraient évité le désagrément de voir mes travaux en apparence vivement attaqués, sans que je sache à qui m'en prendre.

Je dirai de nouveau, en terminant, que je suis toujours résolu à répéter les expériences de Claude Bernard en me plaçant dans le courant même de ses idées préconçues. Je suis décidé également à le faire sur une échelle et avec une ampleur de résultats dignes du sujet et du respect que nous devons à la mémoire de notre regretté confrère.

[Le 25 novembre, Pasteur fit à l'Académie des sciences la communication suivante (1) :]

1. Cette communication ne figure pas dans l'opuscule qui n'en est que le développement. Nous l'avons reproduite ici à titre de *variante*. (*Note de l'Édition*.)

EXAMEN CRITIQUE D'UN ÉCRIT POSTHUME DE CLAUDE BERNARD SUR LA FERMENTATION ALCOOLIQUE [1]

L'Académie se rappellera peut-être qu'au mois de juillet dernier [2] la *Revue scientifique* a publié un manuscrit de Claude Bernard sur la fermentation alcoolique [3], dont les conclusions sont diamétralement contraires à celles que j'ai cru pouvoir déduire de mes études dans ces vingt dernières années.

Depuis que cette publication a eu lieu, je n'ai cessé de la méditer et d'en faire un contrôle expérimental.

Je ne crains pas de dire aujourd'hui que [4] ce manuscrit est une des révélations les plus curieuses qui se puissent voir de l'influence d'un système défectueux sur l'esprit même le plus juste, le plus voué au culte d'une expérimentation rigoureuse; et c'est également ma conviction que, si notre confrère, M. Berthelot, à qui l'on doit la mise au jour de cet écrit posthume, n'avait pas été lui-même prévenu par des idées préconçues, il n'aurait pas publié, dans la forme où il l'a fait, le travail de l'illustre physiologiste.

Si l'on veut embrasser d'un coup d'œil la liaison des vues et des expériences de Bernard, dans le manuscrit dont il s'agit, il faut se familiariser d'abord avec les préoccupations habituelles de son esprit depuis quelques années, et dont l'ouvrage qu'il a laissé en mourant, *Sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux* [5], se trouve imprégné, pour ainsi dire. J'emprunte les citations suivantes à ce livre, dont il corrigeait les épreuves au moment même où il écrivait les notes de Saint-Julien sur la fermentation alcoolique :

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 25 novembre 1878, LXXXVII, p. 813-819. — *Bulletin de l'Académie de médecine*, séance du 26 novembre 1878, 2e sér., VII p. 1182-1192.

Le texte reproduit ici est celui du *Bulletin de l'Académie de médecine*. Nous avons indiqué en notes les alinéas ou les mots de ce texte qui ne figurent pas dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*.

2. Dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* : « L'Académie se rappelle qu'au mois de juillet... »

3. BERNARD (Claude). La fermentation alcoolique. Dernières expériences de Claude Bernard (publiées par M. Berthelot). *Revue scientifique*, 20 juillet 1878, 2e sér., XV, p. 49-56.

4. L'alinéa précédent et ces derniers mots ne figurent pas dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*

5. *Paris*, 1878, in-8° (1 pl. et 45 fig.). (*Notes de l'Édition*.)

« La vie ne saurait être caractérisée exclusivement par une conception vitaliste ou matérialiste....

« Je dirai de mon côté la conception à laquelle m'a conduit mon expérience.

« Je considère qu'il y a nécessairement dans l'être vivant deux ordres de phénomènes :

« 1° Les phénomènes de création vitale ou de synthèse organisatrice ;

« 2° Les phénomènes de mort ou de destruction organique....

« Les actions du genre fermentatif sont le type général des actions vitales de destruction... »

Ces conceptions au sujet des phénomènes de la vie obligeaient Bernard à opposer les phénomènes de vie ou de synthèse et les phénomènes de mort ou de destruction ; c'est-à-dire la vie proprement dite et les fermentations. De là, et d'une manière nécessaire, la condamnation des conclusions expérimentales de mes études ; car il existe, suivant moi, certaines conditions où, soudainement, apparaissent des actes de fermentation en corrélation directe avec les actes organiques : cela arrive toutes les fois qu'il y a vie, formation de cellules, synthèse de principes immédiats, et, plus généralement même, mutations chimiques dans les tissus et les cellules, *sans intervention de gaz oxygène libre*.

Ces faits sont incompatibles avec les vues systématiques de Bernard.

Pour Bernard, les synthèses organiques procèdent de phénomènes autres que ceux des destructions organiques, parce que le même mécanisme ne saurait à la fois édifier et détruire. Tandis que ces mots : vie et fermentation, couvrent, suivant moi, dans beaucoup de circonstances, la plus étroite solidarité, à la seule condition que la vie ait lieu sans air, ils jurent dans son système.

Pour concilier les faits que j'ai observés avec les déductions de ce système, Bernard fait une hypothèse, puis des observations pour la vérifier. Cette hypothèse est celle d'un ferment alcoolique soluble ; et elle sauve le système : car, à son aide, ce n'est plus la vie, c'est-à-dire la nutrition dans des conditions particulières, qui fait la fermentation, c'est un intermédiaire, c'est le ferment soluble qui agit à la manière d'un phénomène chimique. Cent fois, m'a dit M. d'Arsonval, j'ai entendu M. Bernard, dans les mois qui ont précédé sa mort, me déclarer qu'*il fallait affranchir la fermentation de la vitalité des cellules*.

Ce ferment soluble alcoolique, Bernard l'a-t-il rencontré dans la fermentation par la levûre ? En aucune façon ; mais son existence est

une déduction obligée de ses vues *a priori*; et si on le poussait à bout, il dirait volontiers avec M. Berthelot que si on ne peut l'extraire, ce ferment soluble, c'est qu' « il se consomme au fur et à mesure de sa production », ce qui n'est qu'une hypothèse imaginée pour en compléter une autre; mais une hypothèse très habile à coup sûr, puisqu'elle supprime jusqu'à la possibilité de la discussion et de la contradiction. Heureusement pour ma critique, Bernard va plus loin que M. Berthelot. Il déclare que ce ferment alcoolique soluble existe dans le jus du raisin mûr, surtout dans le jus des grains pourris; en général dans tout ce qui pourrit.

Ici se dévoile encore la tyrannie que les idées systématiques de Bernard exercent, à son insu, sur son esprit.

Voici l'une de ses déclarations : « Les phénomènes de destruction organique sont les mêmes, soit par suite du fonctionnement vital, soit dans le cadavre après la mort. » Le ferment alcoolique soluble existant, par hypothèse, dans la levûre de bière en action, c'est-à-dire pendant le fonctionnement vital, peut donc être recherché avec succès dans le grain de raisin qui pourrit, et qui n'est autre que le cadavre du grain.

Si je ne craignais d'abuser des moments de l'Académie, je montrerais aisément qu'il y a en tout ceci un essai de réhabilitation d'une doctrine longtemps maîtresse des esprits, la doctrine de la spontanéité pour l'explication des causes de destruction de ce qui a vécu, doctrine que je combats depuis plus de vingt années par des travaux dont Bernard me paraît n'avoir compris ni les preuves, ni la portée.

« La pourriture est une maturité avancée, » dit Bernard. S'il se fût ouvert à moi au sujet de ses opinions, je lui aurais dit : Suspendez un grain de raisin mûr dans un vase quelconque où circule l'air humide, mais vierge de poussière vivante, et vous le retrouverez, après des siècles, sucré, acide, pas plus altéré que si vous aviez enfermé dans le vase certaine matière minérale; moins altéré même que du fer, pas plus que des cristaux de sucre ou d'acide tartrique, pas plus, du moins, que le sang et l'urine que j'extrais du corps sain et que j'enferme dans des vases ouverts où ne peut circuler qu'un air pur. Le raisin ne pourrit à l'air que par l'action de moisissures qui se développent à sa surface et dans son intérieur, après que l'air commun, toujours plus ou moins chargé des graines de ces petites plantes, en a déposé une ou plusieurs sur sa pellicule.

Bernard a passé à côté de ces vérités (1).

(1) Les deux alinéas précédents ne figurent pas dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. (*Note de l'Édition.*)

Quoique l'expression de génération spontanée de la levûre ne soit prononcée nulle part dans le manuscrit de Bernard, la chose s'y trouve très explicitement à maintes reprises.

Dans ses conceptions physiologiques et philosophiques, Bernard laissait volontiers sa pensée courir à l'aventure, plus qu'on ne le pense et plus qu'il ne le disait lui-même. D'une nature douce et aimable, vivant dans ce monde d'élite de l'Académie française où dominent les idées spiritualistes, il s'astreignait volontiers, soit dans la conversation, soit principalement quand il avait la plume à la main, à des ménagements qui seyaient d'ailleurs très bien a la rigueur scientifique de sa méthode. Il n'y a que des savants à l'esprit téméraire qui puissent faire parade d'une philosophie qu'ils seraient impuissants à établir. Je ne suis donc nullement surpris de trouver dans le manuscrit de Bernard une théorie de la génération spontanée, et cette conclusion que le ferment du raisin ne provient pas de germes extérieurs. Mais j'ai le droit d'être sévère lorsque je vois cette théorie reposer tout entière sur l'affirmation *que dans le jus du grain de raisin mûr il existe une force qu'il appelle* PROPRIÉTÉ PROTOPLASMIQUE, *propriété qui n'existe pas encore dans le verjus et qui est déjà tuée dans le jus des grains pourris; qu'il existe, en conséquence, des jus plasmiques ou féconds, et des jus aplasmiques ou inféconds.*

J'éprouve à la lecture de ces opinions de Bernard autant de surprise que de chagrin : de surprise, parce que le ferme esprit que je m'étais habitué à admirer en lui est partout absent dans cette sorte de mysticisme physiologique; de chagrin, parce que notre illustre confrère fait très bon marché des démonstrations que j'ai données. Il m'a été pénible également de penser que tout ceci se produisait sous le patronage de mon éminent ami M. Berthelot.

Je vais montrer expérimentalement le néant des hypothèses et des observations de Bernard [1].

A peine avais-je fait à l'Académie des sciences ma communication du 22 juillet dernier, où je témoignais de l'étonnement que m'avait causé la publication de la *Revue scientifique*, que je commandai en toute hâte plusieurs serres vitrées, avec l'intention de les transporter dans le Jura. Il n'y avait pas un instant à perdre ; voici pourquoi :

J'ai démontré, dans un des chapitres de mes *Études sur la bière* qu'il n'existe pas encore de germes de levûre sur les grappes des raisins, lorsque ceux-ci sont à l'état de verjus, c'est-à-dire, dans le

1. Les deux alinéas précédents ne figurent pas dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. (*Note de l'Édition*.)

Jura, vers la fin de juillet. La levûre n'apparaît sur les grappes que lorsque les raisins mûrissent. La saison avait été froide et pluvieuse; les raisins devaient donc être à l'état de verjus dans le canton d'Arbois, où je possède une vigne de quelques dizaines de mètres carrés de surface. Dès lors, me dis-je, en recouvrant des pieds de vigne par des serres presque hermétiquement closes que l'on n'ouvrira pas jusqu'à l'époque de la maturité du raisin, j'aurai en octobre, à l'époque des vendanges, des pieds de vigne portant des raisins mûrs, sans germes extérieurs des levûres du vin. Ces raisins étant écrasés avec les précautions nécessaires ne pourront ni fermenter ni faire du vin. Je me donnerai le plaisir d'en rapporter à Paris, de les présenter à l'Académie, et d'en offrir quelques grappes à ceux de nos confrères qui auraient encore la velléité de croire à la génération spontanée de la levûre.

Que l'Académie me permette de rappeler que déjà, dans mes *Études sur la bière*, j'ai montré que des grappes entières de raisins mûrs prélevées dans des serres pouvaient parfois être écrasées sans entrer en fermentation ultérieurement. En outre, voici l'un des alinéas de cet ouvrage [chapitre V] :

« Une autre conséquence se dégage de tous les faits que nous avons exposés relativement à l'origine des levûres du vin : c'est qu'il serait facile de cultiver un ou plusieurs ceps de vigne, de façon que *les raisins récoltés, même à l'automne*, qui auraient poussé sur ces ceps, fussent incapables de fermenter spontanément après qu'on les aurait écrasés pour en faire écouler le jus. Il suffirait de soustraire les grappes aux poussières extérieures pendant la durée de la végétation et de la maturation des grains, et de pratiquer l'écrasement dans des vases bien purgés des germes de levûres alcooliques. Tous les fruits, tous les végétaux, se prêteraient à ce genre d'importantes recherches, dont les résultats, suivant moi, ne sauraient être douteux [1]. »

L'Académie peut se convaincre par ce passage de mon ouvrage, publié en 1876, combien j'étais sûr de moi et combien peu je payais d'audace lorsque le 22 juillet dernier, deux jours après la publication de la *Revue*, j'écrivais : « Si, malgré tout ce que je viens de dire, on voulait faire de ces NOTES une sorte de manifeste contre mes travaux.... malgré le profond respect que j'ai toujours eu pour notre illustre

1. M. Chamberland, dans une thèse pour le doctorat, qu'il soutiendra bientôt devant la Faculté des sciences, a déjà confirmé l'exactitude de ces prévisions. (*Note de Pasteur.*)

CHAMBERLAND (Ch.). Recherches sur l'origine et le développement des organismes microscopiques. (Thèse de doctorat ès sciences physiques.) *Paris*, 1879, 94 p. in-4° (fig.) [*Note de l'Édition.*]

confrère, je dirais franchement que Bernard s'est trompé, que toutes les expériences dont il parle, souvent d'ailleurs de son propre aveu, sont douteuses et incertaines et que, suivant moi, celles qui sont vraies sont mal interprétées. » [P. 554 du présent volume] (1).

Grâce à l'empressement et à l'habileté de M. Oscar André, constructeur, mes serres étaient achevées le 4 août, prêtes à être montées.

Pendant et après leur installation, je recherchai avec soin si les germes de la levûre étaient réellement absents sur les grappes des verjus, comme cela s'était présenté autrefois dans les observations relatées au chapitre V de mes *Études sur la bière*. Je trouvai en effet que les verjus des pieds que recouvraient les serres, comme ceux de tous les pieds de la vigne, ne portaient pas du tout de germes de levûre au commencement du mois d'août dernier. Dans la crainte qu'une fermeture insuffisante des serres n'amenât des germes sur les grappes, et que l'expérience n'eût pas toute la netteté que je voulais lui donner, je pris la précaution d'enfermer un certain nombre de celles-ci dans du coton qui avait été porté à la température de 150 à 200°.

Je revins dans le Jura le 17 septembre, très anxieux de connaître l'état des ceps de vigne enfermés.

Sans m'arrêter ici à une particularité de végétation qui me rendit un moment fort perplexe sur le succès de mon expérience, je dois dire que (2) vers le 10 octobre les raisins des serres étaient mûrs. Ce jour-là, je fis ma première épreuve sur les grains des grappes libres et sur ceux des grappes recouvertes de coton, comparativement avec les grains des grappes restées en plein air.

Le résultat dépassa, pour ainsi dire, mon attente. Les tubes à grains des grappes de plein air fermentèrent par les levûres du raisin, après trente-six ou quarante-huit heures de séjour dans une étuve dont la température variait entre 25 et 30°.

Pas un, au contraire, des nombreux tubes à grains des grappes recouvertes de coton n'entra en fermentation par les levûres alcooliques; et, chose remarquable, il en fut de même pour les grains des grappes libres des pieds sous les serres, à une exception près. Les jours suivants, je répétai ces expériences et j'obtins les mêmes résultats.

Une observation comparative d'une autre nature se présentait à l'esprit. Ainsi que je l'ai expliqué tout à l'heure, dans la combinaison

1. Cet alinéa ne figure pas dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*.
2. Les mots : « Je revins dans le Jura..... je dois dire que » ne figurent pas dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. (*Notes de l'Édition*.)

expérimentale qui précède, tout repose sur le fait que j'ai établi antérieurement, que, dans le Jura, jusqu'à la fin de juillet et dans la première quinzaine d'août, quand la saison est retardée, les verjus ne portent pas du tout de germes de levûre alcoolique, et qu'il faut attendre l'époque de la maturité pour en trouver.

Lorsque les serres furent montées, nous étions à la première époque, à celle de l'absence des germes ; au moment des expériences dont je viens de rendre compte, c'est-à-dire du 10 au 31 octobre et au delà, nous étions au contraire dans la période de la présence des germes. Il était donc présumable que, si je détachais des grappes de mes serres, recouvertes de coton, pour les exposer, leur coton enlevé, à des branches de ceps de la vigne restés en plein air, ces grappes, qui tout à l'heure ne pouvaient pas entrer en fermentation après l'écrasement de leurs grains, fermenteraient sous l'influence des germes qu'elles ne manqueraient pas de recevoir dans leur nouvelle position. Tel fut précisément le résultat que j'obtins.

Plus on descend dans l'étude expérimentale des germes, plus on y entrevoit de clartés imprévues et d'idées justes sur la connaissance des causes des maladies par contage. Par exemple, n'est-il pas très digne d'attention que, dans ce vignoble d'Arbois, et cela serait vrai des millions d'hectares des vignobles de tous les pays du monde, il n'y ait pas à cette heure une parcelle de terre qui ne soit capable de provoquer la fermentation par une levûre du raisin, et que, par contre, la terre des serres dont j'ai parlé soit impuissante à remplir cet office ? et pourquoi ? parce que, à un moment déterminé, j'ai recouvert cette terre par quelques vitres. La mort, si j'ose ainsi parler, d'un grain de raisin qui serait jeté maintenant sur un vignoble quelconque pourrait arriver infailliblement par les parasites dont je parle ; elle serait impossible, au contraire, sur les petits coins de terre que mes serres recouvrent. Ces quelques mètres cubes d'air, ces quelques mètres carrés de surface du sol, sont là au milieu d'une contagion universelle possible, et ils ne la craignent pas depuis plusieurs mois.

Qui oserait douter qu'un jour viendra où des mesures préventives d'une application facile arrêteront ces fléaux qui, tout à coup, désolent et terrifient les populations, telle l'effroyable peste qui a envahi récemment le Sénégal et la vallée du Mississipi ? [1].

J'ai tenu à présenter à l'Académie un certain nombre de grappes de mes serres, les unes libres, les autres encotonnées depuis le 15 août, et

1. Les deux alinéas précédents ne figurent pas dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. (*Note de l'Édition.*)

sur lesquelles il sera facile, à ceux de nos confrères que ces expériences peuvent intéresser, de reproduire les faits que je viens d'annoncer.

Il me reste à discuter la plus grave des propositions du manuscrit de Bernard, celle qui en est l'âme, si l'on peut ainsi dire, savoir : l'existence d'un ferment alcoolique soluble. Une critique détaillée m'entraînerait trop loin. Je regrette de ne pouvoir faire ressortir jusqu'à quel point, dans cette partie de son travail, Bernard se montre encore l'esclave de son système. Il ne cherche pas ce qui est, ce qui se présente, seul moyen de rencontrer ce qui est vrai ; il cherche ce qui doit être, de par son système. Peu satisfait à diverses reprises de ses preuves expérimentales, au lieu de conclure à l'abandon de l'idée directrice qui le guide, il s'obstine dans la recherche de l'apparition de l'alcool sans levûre, et, à un moment, comme désarçonné, il dit : « Cela doit être possible, car IL FAUT *prouver que la formation de l'alcool est indépendante de la présence de toute cellule*. C'est là derrière que Pasteur se retranche pour dire que la fermentation est la vie sans air... »

Ces façons de vouloir que les choses soient me rappellent toujours la condamnation superbe qui en a été faite par Bossuet : *Le plus grand dérèglement de l'esprit, c'est de croire les choses parce qu'on veut qu'elles soient*, admirable principe de philosophie pratique qu'on devrait graver au frontispice de tous les laboratoires [1].

La preuve que Bernard invoque et sur laquelle il aime à revenir, sans qu'elle le satisfasse jamais complètement, consiste à écraser des grains de raisins mûrs, sains ou pourris, à les exprimer et à les filtrer jusqu'à parfaite limpidité, puis à comparer les quantités d'alcool des liquides après leur filtration, et des mêmes liquides après qu'ils ont été abandonnés pendant quarante-huit heures environ. Bernard trouve que dans cet intervalle de temps l'alcool augmente. Malheureusement, au moment où il a assez attendu pour constater que de l'alcool nouveau s'est formé, la levûre se montre également d'ordinaire, et il redevient plein d'hésitation. C'est dans ses conclusions finales qu'il ne laisse plus la moindre place au doute ; mais celles-ci n'ont plus alors que la valeur d'affirmations sans preuves.

Les raisins de mes serres, exempts de germes de levûre à leur surface, et dont le jus ne peut fermenter, vont nous permettre de résoudre aisément la difficulté expérimentale qui tourmentait si fort l'esprit de Bernard. Attendait-il seulement quarante-huit heures à 10°, il voyait, comme je viens de le dire, la levûre apparaître et ses déductions troublées. Quoi de plus facile, avec nos grappes recouvertes de

(1) Cet alinéa ne figure pas dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. (*Note de l'Édition.*)

coton, d'obtenir du jus de raisins mûrs, que nous pourrons abandonner pendant trois, quatre, cinq jours et plus, à 20°, 25°, 30°. Dans ces conditions, dont la réalisation eût paru si enviable à Bernard (réalisation qui l'a fui sans cesse, précisément parce que ces mêmes germes dont il ne voulait pas passaient toujours en petit nombre à travers ses filtres), j'ai constaté qu'il n'y avait pas de formation d'alcool. La question du ferment soluble est donc jugée ; ce ferment n'existe pas là où Bernard a cru le découvrir.

Dans la longue série d'observations à laquelle je viens de me livrer dans le Jura, j'ai rencontré cependant un fait qui a pu contribuer à induire notre confrère en erreur. J'ai reconnu que les grains de raisin écrasés absorbent l'oxygène de l'air, et que par suite de cette oxydation il se forme des produits éthérés alcooliques en quantité faible, mais non douteuse. Cet effet est nul pour le moût de raisin limpide que Bernard employait dans ses expériences, mais on comprend que, dans certaines circonstances mal déterminées, il ait pu attribuer à un tel moût ce qui s'était produit sur l'ensemble des grains écrasés.

Le fait que je signale, et sur lequel je reviendrai ultérieurement, est lié à la présence de ces produits oxydables dont M. Boussingault, le premier, M. Berthelot ensuite et moi-même nous avons reconnu l'existence dans les vins.

En résumé, le manuscrit de Bernard est une tentative stérile de substituer à des faits bien établis les déductions d'un système éphémère. La gloire de notre illustre confrère ne saurait en être diminuée. Les erreurs de ceux qui dans les sciences ont accompli une vaillante carrière n'ont que l'intérêt philosophique qui s'attache à la connaissance de notre humaine faiblesse. Les hommes ne sont grands que par les services qu'ils ont rendus : maxime que je suis heureux d'emprunter à l'une des pages du dernier ouvrage que Bernard nous a laissé en mourant.

Et puis, serait-il équitable de juger en quelque chose notre cher et regretté maître sur les défaillances d'un écrit non signé, « soigneusement caché », nous a-t-on appris, dont il n'avait ni demandé ni autorisé la publication ? [1].

1. Ce dernier alinéa ne figure pas dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (*Note de l'Édition.*)

Je réunis dans les pages qui suivent diverses notes explicatives de quelques-unes des assertions de Claude Bernard et des expériences que j'ai faites pour réfuter sa doctrine.

Ce que j'appelle tubes, vases,..., coton FLAMBÉS.

Pour se débarrasser des germes des organismes microscopiques que les poussières de l'air et l'eau dont on se sert pour le lavage des vases déposent sur tous les objets, le meilleur moyen consiste à placer les vases leurs ouvertures fermées par des tampons de ouate pendant une demi-heure dans un poêle à gaz qui chauffe l'air où plongent les objets à une température de 150 à 200° environ. Les vases, tubes, pipettes, sont alors prêts pour l'usage. Pour flamber la ouate on l'enferme dans des tubes ou dans du papier buvard. Celle qui m'a servi avait été transportée en feuilles de Paris a Arbois et fut utilisée dans les serres pour recouvrir les grappes de raisin, au moment même où on la sortait de l'enveloppe de papier qui l'avait protégée pendant le flambage.

Sur la présence des germes des levûres et des mucédinées à la surface des raisins.

Dans sa Note II, Bernard recherche s'il est vrai qu'en lavant des grappes de raisin « avec un pinceau de blaireau, comme l'indique Pasteur », le liquide de lavage renferme des corpuscules organisés. Il n'en trouve pas : « Je ne découvre rien, dit-il, qui puisse ressembler à des germes ou à quelque chose d'organisé. »

Je m'étonne du peu de soin que Bernard a mis à répéter l'observation que j'ai décrite à la page 151 de mes *Études sur la bière* (1876). A cette page, j'insiste sur la grande différence qui existe entre les nombres des corpuscules organisés répandus à la surface des grains ou sur le bois même des grappes. Bernard ne cherche les corpuscules que dans l'eau de lavage de la surface des grains encore sur leur grappe et point du tout du bois de la grappe. Bien plus, il craint de détacher les grains, de sorte que son pinceau n'a même pas touché au bois des pédoncules des grains.

Quoi qu'il en soit, je me suis fait un devoir de contrôler par de

nouvelles observations celles que j'ai exposées dans mes *Études sur la bière*, et il n'est pas possible de douter de l'exactitude des propositions suivantes :

Les grains avec portion de leur pédoncule, introduits dans du moût rendu préalablement stérile par la chaleur, peuvent le faire fermenter; les cas de fermentation sont plus rares, toutes choses égales, qu'avec le bois des grappes. La levûre qui apparaît le plus ordinairement est la levûre apiculée.

Les grains privés de toute portion de pédoncule, arrachés un à un, entiers, avec le pouce et l'index qu'on vient de passer dans la flamme, font fermenter plus rarement encore.

La fréquence des germes sur les grains et principalement sur les bois des grappes est bien plus grande que sur les feuilles et les rameaux.

Ce qui ne fait jamais défaut sur les grains, sur les bois des grappes, sur les feuilles, sur les bois des rameaux, ce sont les germes des moisissures vulgaires, qu'il y ait ou qu'il n'y ait pas de fermentation alcoolique produite par les levûres dans le moût stérilisé. Des myceliums apparaissent toujours à la surface des organes que je viens de nommer, vingt-quatre ou quarante-huit heures après qu'on les a introduits dans le moût stérilisé.

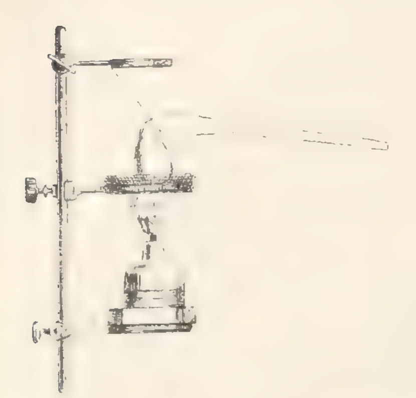
Toute eau de lavage de grains d'une grappe et surtout du bois de cette grappe, après qu'on a détaché les grains, est troublée par des particules amorphes, terreuses ou autres, associées à un grand nombre de spores et de cellules organisées.

La fermentation dite *intracellulaire*, fermentation sans levûre et propre aux cellules du fruit, en dehors de toute participation du gaz oxygène libre, se manifeste également d'une manière invariable. On peut la reconnaître à un dégagement de bulles plus grosses que celles qui résultent de la fermentation par les levûres alcooliques ordinaires.

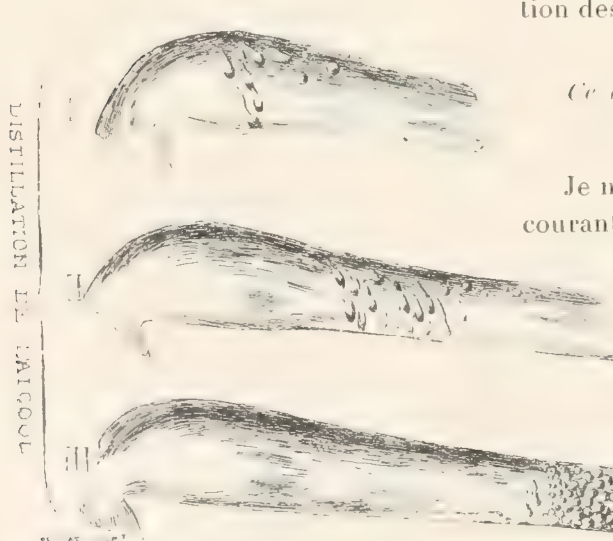
Je ferai observer incidemment que cette fermentation est fort importante à considérer et qu'elle entre pour une grande part dans les phénomènes de la vinification. A peine le raisin est-il dans la cuve, que l'oxygène qui entoure les grains est absorbé et que la vendange se trouve livrée à deux sortes de fermentations très distinctes : celle que l'on a l'habitude d'envisager seule, qui accompagne le développement des levûres proprement dites, et celle que développent les cellules du parenchyme des grains plongés dans des gaz inertes ou entourés d'un moût privé d'oxygène en dissolution. J'ai déjà fait observer autrefois que c'est à cette seconde nature de fermentation qu'il faut attribuer le goût tout particulier de la vendange et des rai-

sins mis en tas, goût si différent de celui des raisins cueillis sur le cep.

Il y aurait un grand intérêt à faire une étude attentive de ce mode de fermentation, des produits qui en résultent et de leurs proportions naturelles. N'est-ce pas cette fermentation qui modifie les acides pendant la fermentation vinaire ? N'est-ce pas cette fermentation qui change les proportions de la glycérine et de l'acide succinique? N'est-ce pas cette même fermentation qui, à l'insu du praticien, fait la principale différence qui existe entre les vins de raisins et les vins des moûts de ces raisins pressés? Les vins de moûts de raisins pressés fermentent par les seules levûres alcooliques. Les vins des vendanges ordinaires sont le produit des deux sortes de fermentations. J'appelle sur ce point capital, aussi nouveau qu'intéressant, toute l'attention des œnologues.



Réduction au $\frac{1}{15}$.



Ce que Bernard appelle ALCOOSCOPE.

Je me souviens que dans le courant de l'année 1877, pendant une des séances de l'Académie, Bernard nous consulta, M. Berthelot et moi, sur la manière de reconnaître la présence de petites quantités d'alcool. M. Berthelot lui indiqua la réaction de Lieben, par la formation de l'iodoforme, lorsque l'alcool est mis en contact de l'iode et d'un alcali. De mon côté, je lui parlai du moyen qui me sert habituellement, moyen qui consiste à porter à

l'ébullition le liquide à éprouver dans une cornue à col assez long, et à observer l'aspect des premières gouttelettes qui se condensent sur les parois froides, au moment où l'ébullition vient de commencer. S'il y a de l'alcool en petite quantité dans le liquide, ces gouttelettes se montrent sous la forme de larmes ayant une queue allongée ou sous la forme de gouttes petites ou plus grosses, très rondes, larmes et gouttes d'un aspect huileux. Si la cornue est jointe à un réfrigérant de Liebig, et que le caractère dont je parle ne se manifeste pas, on recommence la distillation sur les premières portions qui ont passé à la distillation ; on répète ces distillations successives jusqu'à ce qu'on soit arrêté par l'insuffisance de la quantité de liquide de condensation. La plus faible proportion d'alcool peut être décelée par ces manipulations. Il est vrai que beaucoup de substances volatiles autres que l'alcool présentent dans les premiers produits de leur condensation le caractère indiqué ; mais Bernard avait affaire à des liquides aqueux plus ou moins alcooliques.

Bernard adopta le moyen dont je parle dans ses expériences de Saint-Julien, et je tiens de son préparateur, M. d'Arsonval, que, pour abréger le discours, il appelait *alcooscope* la cornue ou le tube de condensation. Cette expression revient souvent dans ses Notes.

Jamais la vapeur d'eau pure ne donne par condensation de gouttes huileuses. Lorsqu'il y a de l'alcool en très petite quantité, il peut arriver que, avant d'apercevoir dans les distillations successives le caractère alcooscopique accusé, il se manifeste quelque chose d'intermédiaire entre le caractère propre à l'alcool et celui de la vapeur d'eau dont les gouttes de condensation sont à bords frangés, irréguliers. Cet aspect intermédiaire, qui annonce que le caractère alcooscopique apparaîtra plus nettement dans des distillations nouvelles, est, je crois, ce que Bernard appelait des *stries plates*, voulant par cette expression brève désigner un vague indice de la présence des plus faibles quantités d'alcool.

La planche ci-jointe (figures ci-contre) représente, réduite au $\frac{1}{10}$, la cornue qui m'a servi. Elle représente également, à une échelle plus grande, les apparences de la condensation de l'eau pure et des liquides contenant des traces d'alcool : I représente le premier aspect de la condensation, près de la panse de la cornue ; II représente l'aspect de la condensation lorsque le col est déjà un peu échauffé dans sa partie supérieure ; III est l'aspect de la poussée des gouttelettes huileuses qui précède la disparition du phénomène, au moment où l'on ne va plus distinguer de gouttelettes ni de larmes huileuses, parce que la quantité d'eau condensée et mêlée aux premières traces

d'alcool est trop considérable et supprime le caractère physique des gouttes huileuses.

Bernard était devenu presbyte.

Lorsque je collationnai l'édition de la *Revue scientifique* avec le manuscrit original de Bernard, au moment où nous arrivâmes à cette phrase de la Note III : « *Je dois ajouter que tous les liquides filtrés n'avaient pas la moindre trace de trouble, il n'y avait pas la moindre trace de ferment formé, il y avait seulement des cristaux déposés au fond des vases* », je dis à M. d'Arsonval, qui m'aidait dans ce travail : je gagerais que Bernard était presbyte. M. d'Arsonval me répondit : « Il l'était beaucoup, depuis une année principalement, à tel point que, dans les opérations de vivisection, c'était la connaissance profonde qu'il avait de l'anatomie, bien plus que ses yeux, qui guidait sa main. » En effet, si Bernard n'eût pas été presbyte, j'ai la conviction que dans toutes les expériences pareilles à celles dont il s'agit dans la Note III, où il constatait la présence d'un peu d'alcool formé dans des liquides filtrés, il aurait aperçu sur le fond des vases, outre les cristaux brillants de tartrate de chaux, une couche très mince, à peine sensible, de levûre apiculée, ou de petits tas de cette production qui lui auraient donné l'explication de la présence de traces d'alcool ; il eût reconnu également que, toutes les fois qu'il n'y a pas de levûre formée, l'alcool est absent.

La présence de la levûre est plus facile encore à mettre en évidence, en décantant le liquide limpide avec précaution, puis en agitant vivement les quelques gouttes restantes. Celles-ci, examinées au microscope, montrent la levûre apiculée. Le plus souvent même, la présence des cellules de la levûre trouble sensiblement la limpidité de ces quelques dernières gouttes, après qu'on a agité le vase.

Preuves que l'oxygène de l'air se fixe sur les grains de raisin écrasés et forme des produits alcooliques, mais que cet effet ne se produit pas avec les moûts limpides.

Le 22 octobre 1878, on écrase des grains séparés de grappes dont tous les grains avariés avaient été préalablement enlevés un à un. Avec la matière écrasée, prise tout venant, grains écrasés et jus, on remplit complètement une éprouvette d'un demi-litre et à moitié deux flacons de 1 litre, qu'on bouche ensuite. On recouvre l'éprouvette d'une plaque de verre et on l'abandonne au repos, tandis que l'on agite un des flacons, au contact de l'air qui s'y trouve contenu, pendant trois heures,

et l'autre flacon pendant sept heures. Le 23, on distille des portions égales des trois vases pour les comparer à l'alcooscope, après s'être assuré par une analyse rapide que l'air des flacons agités avait perdu beaucoup d'oxygène, le second assez pour éteindre une bougie qu'on y plongeait. L'alcooscope a montré que les grains écrasés de l'éprouvette ne contenaient que des traces douteuses d'alcool, que le flacon agité trois heures en montrait à la deuxième distillation, que le flacon agité sept heures en contenait sensiblement plus, quoique cet alcool ne fût visible également qu'à la deuxième distillation.

Je me suis assuré, par l'observation microscopique, que dans les flacons il ne s'était pas produit de levûres alcooliques.

Voici la preuve que la petite quantité des produits alcooliques formés était réellement un effet de l'absorption de l'oxygène par les matières des grains écrasés, à la suite de l'agitation, et non le produit d'un ferment soluble. Le 23, aussitôt après avoir fait à l'alcooscope la comparaison des raisins écrasés de l'éprouvette et des flacons, on presse dans un linge les contenus des flacons et l'on filtre sur papier. La filtration a duré de midi à cinq heures. On distribue tout de suite le moût filtré, très limpide, dans des flacons flambés, élargis par le bas, contenant peu de moût et beaucoup d'air, qu'on abandonne à la température du laboratoire, qui était de 14-15°. En même temps, on essaye à l'alcooscope le moût d'un de ces flacons, pour se faire une idée très nette du caractère alcooscopique après la filtration. Une première distillation, faite sur 10 centimètres cubes, ne montre ni gouttes huileuses rondes, ni larmes. On recueille 3 centimètres cubes, qu'on redistille. Cette fois on aperçoit, au moment de la condensation des premières parties, quelques gouttes rondes et quelques larmes huileuses, puis une poussée fugitive d'un groupe de gouttelettes qui disparaissent sur le col, à quelques centimètres du sommet de la cornue.

Le lendemain, le moût est resté limpide, et il n'y a pas encore de levûre apiculée formée sur le fond des vases, si ce n'est une trace presque insensible. On distille de nouveau 10 centimètres cubes, puis les 3 centimètres cubes de condensation. Or, les caractères alcooscopiques sont les mêmes que la veille.

En résumé, après quelques heures d'agitation à l'air, des grains de raisin écrasés donnent lieu à la formation d'une petite quantité de produits alcooliques éthérés, dont la proportion est variable avec la quantité d'oxygène absorbée, tandis que le moût extrait, limpide par la filtration, de ces grains écrasés peut rester vingt-quatre heures au contact de l'air sans former d'alcool. C'est une preuve que les produits

alcooliques nés pendant l'agitation au contact de l'air correspondent à l'oxydation de quelques matériaux des grains écrasés, et non à l'existence d'un ferment soluble tout fait dans les grains mûrs ou se formant dans le moût au contact de l'air. Notons que les grains écrasés des raisins noirs qui ont été agités au contact de l'air donnent par la filtration un moût coloré en rouge grenat plus ou moins clair, et que, quand il n'y a pas eu fixation d'oxygène, les mêmes grains fournissent un moût à peu près incolore ou de couleur blond pâle. L'oxydation paraît donc porter sur les matières colorables des pellicules.

J'ai vérifié dans maintes expériences que le moût de raisin filtré, agité au contact de l'air, ne forme pas du tout d'alcool; du moins il n'en forme pas en quantité appréciable à l'alcooscope, même après plusieurs distillations successives.

Circonstance où Bernard paraît avoir été induit en erreur par les effets de l'oxydation de grains écrasés au contact de l'air.

Un passage du manuscrit de Bernard permet de penser qu'il a été induit en erreur, au moins dans une circonstance déterminée, par la formation de produits alcooliques sous l'influence d'une oxydation des grains de raisin écrasés. C'est dans la Note III :

« .... Mais il semblerait, dit-il, que le liquide filtré le dernier, c'est-à-dire resté en contact avec les débris de cellules sur le filtre, contient plus d'alcool, etc.... » Et, plus loin, dans la conclusion de cette même Note : « .... Seulement, il reste à décider si la prolongation du contact avec les débris de cellules augmente la quantité d'alcool, sans que pour cela il y ait formation de cellules de levûre. »

Il est certain que cette augmentation dans la quantité d'alcool a lieu, sans qu'il y ait formation de cellules de levûre, quand l'oxydation par l'air est possible. (*Voir* à ce sujet la Note précédente.)

C'est une question de savoir si l'alcool prend normalement naissance pendant la maturation du raisin.

Bernard reproduit une question que je m'étais déjà faite antérieurement, savoir s'il se forme normalement de l'alcool pendant la végétation. Sur des feuilles de rhubarbe, cueillies dans le jardin de l'École Normale et tout de suite hachées et distillées, j'ai constaté la présence de l'alcool, et, à ce propos, j'ai fait observer qu'il y aurait lieu de rechercher si l'alcool n'est pas un produit normal de la végétation

Études sur la bière, 1876). Les expériences suivantes sont un pas nouveau vers la solution de cette question.

Le 27 septembre 1878, on remplit d'eau aux deux tiers une bouilloire en fer battu de 3 litres de capacité; à la vigne même, on porte l'eau à 85° environ, puis on laisse tomber dans cette eau chaude douze grappes de raisins mûrs, après avoir eu le soin d'enlever un à un tous les grains altérés, pourris.... Les douze grappes pesaient, réunies, 700 grammes. Dans deux autres bouilloires pareilles, sans eau, on place également 700 grammes de grappes préparées de la même manière. Soient A la première bouilloire, B et C les deux autres.

Après avoir rapporté au laboratoire ces trois vases A, B, C, on écrase les raisins de A dans leur eau encore chaude, à l'aide d'un mandrin de bois à tête plate. Dans le vase B on fait arriver du gaz carbonique, où les grappes séjournent pendant cinq heures. Le vase C est laissé tel quel, abandonné à lui-même pendant vingt-quatre heures.

Aussitôt après l'écrasement des raisins dans la bouilloire A, on introduit toute la matière, eau et raisins écrasés, dans une cornue et l'on pratique des distillations successives pour concentrer l'alcool que les grappes pouvaient contenir, dans l'espoir que la température élevée qu'elles ont subie au début aura empêché toute formation ultérieure de cette substance, et que la portion qu'elles pouvaient en contenir dans leurs grains est restée dans ceux-ci ou s'est mélangée à l'eau. Après cinq distillations successives, en recueillant environ un tiers du volume à chaque distillation, on n'a pas constaté trace d'alcool à l'alcooscope. La sixième distillation, portant sur 10 centimètres cubes, a manifesté la présence de gouttelettes huileuses dans la première moitié du col de la cornue.

On a distillé ensuite les grappes écrasées de B après cinq heures de séjour dans le gaz carbonique, et les grappes de C après vingt-quatre heures de séjour au fond de leur bouilloire.

En comparant à l'alcooscope les dernières portions des trois séries, on a jugé que toutes trois contenaient des traces d'alcool, mais que celle de B en contenait sensiblement plus que celle de C, qui en contenait plus que celle de A.

La conclusion qu'on est en droit de déduire de ces comparaisons, c'est que la production de l'alcool est immédiate dans des raisins mûrs lorsqu'on vient à les plonger dans le gaz acide carbonique, qu'elle a lieu même sans la présence de gaz carbonique lorsque des grappes se recouvrent au fond d'un vase, qu'enfin cette formation d'alcool est peut-être douteuse dans le grain, sur le cep, pendant la végétation.

Puisqu'il y a si peu d'alcool, en effet, dans douze grappes qu'on

vient de cueillir et chez lesquelles, avant tout écrasement, on arrête la formation ultérieure possible de l'alcool par une élévation de température, qu'il faille six distillations successives pour manifester la présence de ce liquide, on peut se demander si réellement l'alcool est un produit de la végétation normale. Ne peut-on pas accuser des indices de sa présence la manipulation du broiement des grains et l'oxydation qu'elle entraîne forcément, malgré la précaution d'avoir fait tomber tout d'abord les grappes dans de l'eau chaude? Toutefois, je m'empresse d'ajouter que par des expériences directes j'ai constaté que l'oxydation n'a pas lieu, non plus que la formation de produits alcooliques, lorsqu'on agite plus ou moins longtemps au contact de l'air des grains de raisin écrasés, après qu'on a porté ceux-ci en vase clos, non dans de l'eau chaude, mais dans un bain-marie à 100°.

Dans tous les cas, les expériences que je viens de faire connaître montrent que la constatation de la présence de l'alcool dans les raisins est entourée de causes d'erreur, puisqu'une foule de circonstances peuvent influer sur la formation de ce produit : conservation des grappes en tas, portions de grappes enveloppées d'un gaz inerte, écrasement des grappes au contact de l'air, sont autant de circonstances qui peuvent amener la formation de l'alcool.

Les jus des fruits mûrs ne renferment pas de ferment soluble alcoolique et ne peuvent former spontanément de la levûre au contact de l'air.

Dès l'année 1872 [1], j'ai décrit, devant l'Académie des sciences, un dispositif à l'aide duquel il est facile d'extraire de l'intérieur d'un grain de raisin le jus qui y est contenu, et de montrer que ce jus est incapable de donner de la levûre ou de faire fermenter le moût de raisin (*voir* également mes *Études sur la bière*) [ch. III]. Quoique très simple, ce dispositif peut être remplacé par un autre plus simple encore et également applicable, non seulement à des grains de raisin, mais à des pêches mûres, ce qui permet, si l'on utilise successivement plusieurs pêches pour une même épreuve, d'opérer sur une quantité quelconque de jus. Il suffit de prendre de belles et grosses pêches très mûres et très saines, de les fatiguer sur une partie de leur surface par la pression des doigts, puis, touchant un point de la pellicule en cet endroit, avec l'extrémité d'une baguette chauffée pour brûler les germes qui pourraient s'y trouver, de faire pénétrer l'extrémité effilée d'un

1. *Voir* p. 385-386 du présent volume : Nouvelles expériences pour démontrer que le germe de la levure qui fait le vin provient de l'extérieur des grains de raisin. (*Note de l'Édition.*)

tube de verre flambé, muni à son autre extrémité d'un tampon de coton. Par cette dernière extrémité on aspire le jus intérieur de la pêche qu'on laisse séjourner dans le tube à la température que l'on désire. On peut également porter le jus aspiré dans un vase flambé, passer à une autre pêche, à une troisième, etc., et recueillir ainsi beaucoup de jus. Si l'expérience est bien faite, le jus ne fermente pas et ne donne jamais ni levûres, ni moisissures quelconques.

Sur la non-formation de la levûre dans les jus de grains de raisin pourri.

Claude Bernard paraît avoir attaché une grande importance au fait de la non-formation de la levûre dans le jus des grains pourris. Pourtant, dans les faits qu'il a observés, que de contradictions sur ce point! Quoi qu'il en soit, au début, dans sa première Note, il ne doute pas du fait :

« *Le jus de raisin pourri*, dit-il, *quoique sucré, ne fermente pas : y ajouter ferment* (*c'est-à-dire de la levûre toute formée*), *il fermente.* »

A la fin, dans les conclusions de sa dernière Note, il n'est pas moins affirmatif :

« .... *Dans les jus aplasmiques ou inféconds* (... *jus pourris*), *le ferment ne se développe pas*, *quoiqu'ils soient sucrés. Si l'on y ajoute du ferment, alors ils fermentent.* »

Il est certain que les jus des grains pourris ne donnent pas lieu à une production de levûres aussi facilement, aussi promptement que les jus des grains sains. Quoi de plus naturel, quand on sait que les germes des levûres sont extérieurs aux grains et que la pourriture a pour cause un développement de moisissures à la surface des grains? Ces moisissures, en se développant sur les grains, ne peuvent-elles pas altérer, détruire même les germes des levûres? Bien d'autres circonstances peuvent gêner la formation des levûres dans les jus de grains pourris : l'odeur de ces jus, due peut-être à des principes antiseptiques, leur concentration, plus grande que celle des grains sains, la présence d'un peu d'alcool dans ces jus....

Quant au fait en lui-même, il n'est rien moins que constant, et pour le prouver je n'ai qu'à citer quelques-unes des propres expériences de Bernard :

Note VI. — Le 11 octobre, il broie avec de l'eau des grains de raisin pourri secs.... Le 13, pas de ferment alcoolique formé; mais le 15 beaucoup d'alcool est formé, et au microscope il trouve des grains de ferment.

Note X. — Au commencement de la conclusion de la Note X, Bernard dit expressément :

« *Le jus de raisin pourri ne fermente pas alcooliquement, quoique exposé à l'air et à une température convenable.* »

A la fin de cette même conclusion il dit, au contraire :

« .... *Du jus de raisin pourri finit par fermenter à l'étuve. Seulement il ne se forme que très peu de ferment. Quand on ajoute de l'eau, il se forme plus de ferment et plus vite....* »

Dans la Note XV, il dit encore :

« .... *Quand les grains de raisin pourri ont été écrasés et qu'ils pourrissent écrasés exposés à l'air, alors il y a toujours formation de levûre....* »

A propos des idées que Claude Bernard se faisait de la pourriture des grains de raisin.

« La pourriture n'est qu'une maturité avancée », disait Bernard.

Je relisais tout récemment, dans les *Bulletins de l'Académie de médecine*, la discussion sur la septicémie qui eut lieu devant cette Compagnie en 1873. Quel ne fut pas mon étonnement en voyant le Dr Davaine raconter incidemment, au cours de cette discussion, à laquelle il prit une si large part, que, se trouvant à la maison de campagne de Claude Bernard, à Saint-Julien, pendant les vacances de 1866, il étudia sur une grande échelle la pourriture des raisins, sous les yeux mêmes de Claude Bernard, et qu'il constata que ce phénomène était lié à la présence de moisissures à la surface des grains (1), comme je l'avais observé moi-même antérieurement!

Que Bernard eût oublié que, dans une Note présentée par moi à l'Académie, le 20 avril 1863, j'avais fait connaître la loi générale de ce genre d'altérations (2), qu'il ne se fût pas souvenu davantage que, dans une Leçon que je fis à la Sorbonne au mois de février 1865 et publiée alors par la *Revue des cours scientifiques* (3), j'avais pris pour exemple de la combustion des matières organiques mortes par les moisissures précisément la pourriture du raisin, je ne saurais en être trop surpris; mais n'est-il pas étrange qu'il eût perdu de vue au mois d'octobre 1877

1. Voir *Bulletin de l'Académie de médecine*, 2e sér., II, 1873, p. 471. (Tome VI des Œuvres de Pasteur.)

2. *Voir* p. 165-171 du présent volume : Examen du rôle attribué au gaz oxygène atmosphérique dans la destruction des matières animales et végétales après la mort.

3. *Voir* Document VII, à la fin du présent volume : Des fermentations ou du rôle de quelques êtres microscopiques dans la nature. (*Notes de l'Édition.*)

les expériences postérieures aux miennes de son ami le Dr Davaine, faites chez lui, sur le même sujet, en 1866?

Voilà pourtant jusqu'à quel point les systèmes sont décevants, même pour les esprits supérieurs!

Dans la fermentation des raisins sans levûre, au sein d'une atmosphère de gaz acide carbonique, il ne se forme pas de ferment soluble alcoolique.

J'ai pu résoudre cette question avec une grande rigueur. Il m'a suffi de placer des grains de raisin mûrs, prélevés sur mes grappes recouvertes de coton, dans des flacons remplis de gaz acide carbonique, à 25-30°. La fermentation sans levûre s'est établie, et, quelques jours après, j'ai écrasé les grains et filtré. Le jus filtré, après qu'on eut reconnu ses caractères alcooscopiques, fut abandonné dans une étuve pendant quelques jours. La proportion d'alcool resta la même.

Cette expérience n'est pas aussi facile à faire qu'on pourrait l'imaginer tout d'abord, à moins qu'on ait recours pour les filtrations aux filtres de terre cuite avec emploi du vide, qui permettent de se débarrasser de tous les organismes microscopiques les plus ténus. Mais je n'avais pas, dans le Jura, cette ressource à ma disposition. En se servant de filtres de papier, l'expérience exige presque l'emploi de ces raisins, sans germes extérieurs de levûre, que j'ai obtenus dans mes serres. En opérant sur des grains de raisin de grappes mûres *ordinaires*, placés dans le gaz acide carbonique, il s'est produit de la levûre après quelques jours de séjour à l'étuve. Cette formation anaérobie de levûre est très gênante, parce qu'il est impossible que la levûre ne passe pas au filtre en quantité si minime qu'on puisse le supposer. Dès lors, elle se multiplie dans le jus filtré et rend toute conclusion à peu près illusoire. Avec des grains de grappes privées de tout germe de levûre, on n'a pas à craindre cette cause d'erreur et l'on peut laisser le moût filtré séjourner longtemps à l'étuve avant de l'éprouver pour la quantité d'alcool qu'il peut contenir.

A propos des actions de vie sans air : leur influence dans les phénomènes chimiques de la respiration.

Les effets de la respiration me paraissent devoir être envisagés d'une autre manière qu'on ne le fait communément. A maintes reprises, j'avais entretenu Claude Bernard de mes vues sur ce sujet, vues qui m'ont été suggérées par les propriétés des cellules de la levûre de bière.

Les cellules de la levûre reçoivent de la présence du gaz oxygène une vie, une activité extraordinaires, et dont les effets se prolongent au delà de l'instant d'absorption du gaz et des combustions qui en résultent. La vie de la levûre, quand elle est privée d'oxygène libre, est pénible, et lente est son action comme ferment. Si l'oxygène est présent, même en faible quantité, les cellules s'entretiennent dans un état de jeunesse et d'activité remarquables, dont les effets ne sauraient s'expliquer par une action chimique pure et simple, due à l'absorption du gaz oxygène : les cellules reçoivent de cette absorption comme une impulsion, une excitation. Je veux dire que les cellules de la levûre, par le contact et l'absorption du gaz oxygène, sont mises dans un état de vie et de santé qui leur permet de prolonger leur vie pendant un assez long temps, sans plus avoir besoin de gaz oxygène, et de façon à devenir des ferments énergiques. Une absorption répétée d'oxygène, quoique très limitée en volume, donne aux cellules une sorte de jeunesse permanente qui leur permet de poursuivre leur nutrition, leur multiplication à l'abri de l'air, et qui entretient par suite à un haut degré l'activité de la fermentation qu'elles peuvent provoquer. On trouve dans mes *Études sur la bière* [chapitre VII] cette curieuse et décisive expérience : un moût sucré est-il en fermentation à l'abri de l'air, si l'on vient à soutirer tout ou partie du liquide pour le reverser immédiatement par le haut de la cuve, le seul fait du passage rapide du liquide dans l'air et du faible volume de gaz oxygène absorbé donne immédiatement à la fermentation une activité nouvelle remarquable et qui dure longtemps après l'absorption du gaz, laquelle a suffi pour rajeunir les cellules et leur permettre de continuer leur vie sans air, en reprenant plus d'énergie comme ferment.

Il est vrai que cette activité s'épuise si la soustraction de l'oxygène persiste. La fermentation, à son tour, se ralentit dans ces conditions. Il ne faut pas conclure de ces faits que l'oxygène intervient directement dans la propriété que possède la levûre de faire fermenter le sucre. J'ai donné de très bonnes raisons pour admettre que la levûre, si elle était entourée d'air, ne ferait plus fermenter le sucre, qu'elle ne ferait plus que le décomposer pour s'en nourrir, en dégageant de l'acide carbonique, comme font toutes les moisissures lorsqu'elles ont le sucre pour aliment [1]. Mais l'oxygène de l'air excite les cellules de

1. Ce serait se faire illusion que de croire qu'il est facile d'entourer d'air toutes les cellules de levûre dans une culture de cet organisme. Les cellules forment une poussière dont les grains, d'une ténuité extrême, se recouvrent les uns les autres. Ceux du dessus garantissent ceux du dessous du contact de l'oxygène, et, quoi qu'on fasse, les actions sont complexes. On n'atteint pas davantage le résultat désiré en faisant barboter de l'air dans le vase qui contient la levûre

la levûre, les rajeunit et les met en état de pouvoir vivre pour un temps en dehors de toute participation du gaz oxygène ; c'est à ce moment que la cellule devient ferment par excellence pour le sucre, soit qu'elle se multiplie, soit qu'elle continue seulement sa vie de cellule, c'est-a-dire d'individu qui ne se reproduit pas. La multiplication à l'abri de l'air correspond à un état jeune de la cellule ; l'absence de multiplication caractérise la cellule déjà vieille ou qui a vécu sur elle-même pendant un certain temps. Il y a là comme une image de la jeunesse et de l'âge adulte ou de la vieillesse dans l'organisation animale.

Je suis très porté à croire que dans l'économie animale il se passe des phénomènes du même ordre, c'est-à-dire que l'oxygène n'agit pas seulement comme source d'oxygène qui s'absorbe et qui opère des combustions, mais qu'il donne aux cellules une activité, une jeunesse, si l'on peut se servir de cette expression, d'où elles tirent la faculté d'agir ensuite et aussitôt après, en dehors de l'influence de l'oxygène libre, à la manière des cellules-ferments.

L'oxygène porté par les globules du sang n'irait donc pas opérer par tout le corps des combustions, mais donner seulement aux cellules des organes une excitation, un état de vigueur et de santé propres à les faire fonctionner comme des cellules anaérobies, c'est-à-dire vivant en dehors de toute participation du gaz oxygène libre et provoquant des phénomènes de fermentation. Sans cesse, dans le temps d'une inspiration et d'une expiration, l'oxygène communiquerait aux cellules l'activité dont il s'agit, suivie du fonctionnement de ces cellules comme cellules-ferments. Les combustions directes seraient de peu d'importance, excepté peut-être dans l'état de croissance des individus, c'est-à-dire quand il y aurait multiplication des cellules.

La fermentation devient, dans cet ordre d'idées, un phénomène général, universel, propre à toutes les cellules vivantes, mais qui revêt un état habituel particulier dans les cellules des ferments, uniquement par cette circonstance que ces cellules peuvent vivre plus longtemps que les cellules des autres êtres en dehors de l'intervention du gaz oxygène libre. Mais tous les êtres seraient le siège de phénomènes de fermentation d'une durée variable avec les conditions et la durée de la vie sans air, succédant à l'excitation donnée par le gaz oxygène. Beaucoup de phénomènes physiologiques, inconnus ou mystérieux dans leurs manifestations, trouveront, je l'espère, leur inter-

ou, comme je l'ai essayé dans des expériences inédites, à l'aide de flacons tournant sur leur axe. D'ailleurs, le mouvement et le contact de *beaucoup d'air* nuisent singulièrement à la vitalité de la levûre.

prétation naturelle dans les vues que je viens d'exposer et dont je me plaisais à entretenir Bernard, soit dans nos conversations du lundi à l'Académie des sciences, soit même par écrit, car je trouve dans mes notes la minute d'une lettre datée du mois d'avril 1875 et qui montre jusqu'où j'allais dans les applications que je prétendais faire des idées qui précèdent à la Physiologie :

Mon cher maître, avez-vous lu ce que j'ai écrit dans le *Bulletin de l'Académie de médecine, séance du 23 mars*, à l'occasion d'une discussion sur la fermentation [1], au sujet d'actions de fermentation dans l'économie par la vie continuée des cellules en dehors de la participation du gaz oxygène? Si ces vues ont le fondement que je leur accorde, une de leurs applications ne serait-elle pas de pouvoir rendre compte du fait physiologique si remarquable de l'élévation de la température d'un membre plongé dans le gaz acide carbonique? Ce gaz ne pourrait-il pas provoquer subitement des phénomènes de fermentation dans les cellules sous-jacentes de l'épiderme jusqu'à une profondeur variable avec la durée de l'exposition? De là peut-être le développement de la chaleur que l'on constate, et qui serait l'effet de la décomposition des matières fermentescibles. En suivant cet ordre d'idées, ne verriez-vous pas dans l'usage de bains répétés de gaz carbonique un moyen de détruire, au moins partiellement, le sucre dans le sang, et par une conséquence naturelle d'en diminuer la présence dans l'urine des diabétiques, peut-être de le supprimer? Je m'arrête : je ne serais pas digne de vous appeler mon maître si j'allais trop loin dans des déductions d'idées préconçues....

La note suivante, que je trouve également dans mes papiers et que je copie textuellement telle que je l'ai écrite pendant une séance de l'Académie, montre jusqu'à quel point Bernard prenait en sérieuse considération les vues dont je parle :

Ce lundi 12 juin 1876, à la séance de l'Académie, Bernard m'apprend que dans l'asphyxie l'urée augmente beaucoup dans le sang, que c'est contraire aux idées qu'on se fait des combustions directes par l'oxygène des globules du sang et de leur influence supposée dans la formation de l'urée, et il a ajouté : « *Vos idées de ferments formés en l'absence de l'oxygène de l'air doivent trouver là des applications.* »

Combien ce dernier fait se trouve en harmonie avec la théorie nouvelle de la respiration que j'exposais tout à l'heure, et combien, au contraire, il condamne les idées reçues et leur est même diamétralement contraire!

La plupart des phénomènes physiologiques devraient être revisés

1. *Bulletin de l'Académie de médecine*, séance du 23 mars 1875, 2e sér., IV, p. 328-330, 333-335, 351-352. Voir tome VI des Œuvres de Pasteur. (*Note de l'Édition.*)

à la clarté des vues que je viens d'exposer. Dans les applications qu'on en peut faire, je suis frappé de la simplicité des explications qu'elles suggèrent. Elles rendent compte des faits les plus obscurs pour la théorie de la combustion directe.

a. Un muscle en activité produit un volume d'acide carbonique supérieur au volume d'oxygène absorbé dans le même temps. La consommation d'oxygène n'est donc pas en rapport exact avec la production d'acide carbonique. Pour la théorie nouvelle, ce fait n'a rien que de naturel, puisque l'acide carbonique produit résulte d'actes de fermentation qui n'ont aucune relation nécessaire avec la quantité de gaz oxygène absorbée et fixée.

b. On sait que dans des gaz inertes, dans l'hydrogène, l'azote, l'acide carbonique, le muscle peut se contracter, et qu'il produit alors de l'acide carbonique. Ce fait est une conséquence obligée de la prolongation de la vie des cellules dans leur état anaérobie, sous l'influence de l'excitation qu'elles ont reçue antérieurement du contact du gaz oxygène apporté par les globules du sang. Il est inexplicable dans les théories des combustions respiratoires.

c. Les muscles ont, après la mort et dans l'asphyxie, une réaction acide. On le comprend aisément si des actes de décomposition et de fermentation s'accomplissent et se prolongent au delà de la vie dans toutes les cellules fonctionnant comme cellules anaérobies.

d. On asphyxie un animal et l'on constate que, sur l'heure, sa température augmente, tandis qu'elle devrait diminuer aussitôt par la suppression des combustions, si la chaleur était la conséquence de ces combustions. Quoi de plus naturel que ce fait, au contraire, si l'on considère que le corps de l'animal asphyxié est livré, sans travail musculaire quelconque, à des phénomènes de fermentation qui dégagent de la chaleur?

e. La fièvre elle-même, dont l'explication est si difficile aujourd'hui, ne sera-t-elle pas envisagée dans l'avenir comme un des effets d'un trouble survenu dans le fonctionnement des cellules anaérobies du corps, d'où résulterait une exaltation des fermentations qu'elles provoquent?

Dans ses *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux* (1), Bernard s'exprime ainsi (p. 171) :

« Le rôle véritable de l'oxygène est inconnu. Il est bien certain que ce gaz est fixé dans l'organisme et qu'il devient ainsi un des éléments de la

1. *Paris*, 1878, in-8° (1 pl. et 45 fig.). (*Note de l'Édition*.)

constitution ou de la création organique. Mais ce ne serait point par sa combinaison avec la matière organique qu'il provoquerait le fonctionnement vital. En entrant en contact avec les parties, il les rend excitables ; elles ne peuvent vivre qu'à la condition de ce contact. C'est donc comme agent d'excitation qu'il interviendrait immédiatement dans le plus grand nombre des phénomènes de la vie. »

Plus loin, il ajoute [p. 172] :

« La conclusion que nous avons exposée au début nous semble donc amplement justifiée ; il n'est pas nécessaire de multiplier autrement les exemples pour prouver que la théorie de la combustion directe, qui a déterminé un si grand progrès quand son illustre fondateur l'a introduite dans la Science, n'a cependant pas été confirmée par les études physiologiques. La combustion n'est pas directe dans les organismes, et la production d'acide carbonique, qui est un phénomène si général dans les manifestations vitales, est le résultat d'une véritable destruction organique, d'un dédoublement analogue à ceux que produisent les fermentations. Ces fermentations sont d'ailleurs l'équivalent dynamique des combustions ; elles remplissent le même but, en ce sens qu'elles engendrent de la chaleur et sont par conséquent une source de l'énergie qui est nécessaire à la vie. »

Ne trouve-t-on pas dans ces passages comme un écho de nos conversations sur la théorie de la respiration dont je parlais tout à l'heure ? Toutefois, la conclusion précédente de Bernard n'est formulée qu'à titre de négation de la théorie de la combustion directe, et elle ne serait qu'une négation de cette théorie si l'on n'y ajoutait ce complément, qui est le fondement même de la théorie nouvelle que je propose, à savoir que l'excitation des cellules des divers organes par le gaz oxygène permet à celles-ci, comme on l'observe dans le cas de la cellule de levûre de bière, d'agir ensuite comme cellules-ferments sur les matières fermentescibles présentes dès que l'oxygène est supprimé ou fait défaut. Bernard ne paraît pas m'avoir suivi jusque-là. Et cependant rappelons-nous cette parole de lui que je soulignais tout à l'heure : « *Vos idées de ferments formés en l'absence de l'oxygène de l'air doivent trouver là des applications.* »

Les deux communications suivantes sont empruntées aux *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. Elles datent des années 1861 et 1863. Je les reproduis ici parce qu'elles jettent de la clarté sur les discussions qui font l'objet du présent opuscule.

EXPÉRIENCES ET VUES NOUVELLES SUR LA NATURE DES FERMENTATIONS

[Nous ne reproduisons pas ici cette Note parue dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 17 juin 1861, LII, p. 1260-1264. Elle se trouve p. 142-147 du présent volume.]

EXAMEN DU ROLE ATTRIBUÉ AU GAZ OXYGÈNE ATMOSPHÉRIQUE DANS LA DESTRUCTION DES MATIÈRES ANIMALES ET VÉGÉTALES APRÈS LA MORT

[Nous ne reproduisons pas ici cette Note parue dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 20 avril 1863, LVI, p. 734-740. Elle se trouve p. 165-171 du présent volume.]

DISCUSSION AVEC M. BERTHELOT

La réfutation que je fis des Notes posthumes de Claude Bernard, devant l'Académie des sciences, donna lieu, de la part de M. Berthelot, à des critiques qui amenèrent, entre lui et moi, une discussion si étroitement liée à l'objet même du présent ouvrage, qu'il m'a paru utile de reproduire intégralement les observations de mon savant confrère et les réponses dont je les ai fait suivre.

Première critique de M. Berthelot [1]

(16 décembre 1878)

Je lis, dans le *Compte rendu* de la séance de l'Académie du 25 novembre, une Note de notre confrère M. Pasteur qui me paraît de nature à donner lieu à quelques observations.

En parlant d'un ferment alcoolique soluble, susceptible de se consommer au fur et à mesure de sa production et dans l'acte chimique même qu'il détermine, j'avais pris soin d'ajouter que, pour démontrer cette hypothèse, il était nécessaire de découvrir les conditions dans lesquelles ce ferment se produirait suivant une dose plus considérable que la quantité détruite dans la fermentation.

C'étaient ces conditions que Cl. Bernard paraissait avoir rencontrées, dans des expériences dont le récit nous est parvenu malheureusement d'une façon incomplète; j'ai cru cependant utile à la Science de les publier telles quelles, parce qu'il ne s'agissait point, dans ma pensée, d'ouvrir une polémique, mais de signaler une voie nouvelle de recherches, ouverte par Cl. Bernard.

M. Pasteur me semble être resté étranger à cet ordre d'idées. Il n'a vu dans ces Notes qu'un texte à réfuter; il a recherché aussitôt et trouvé, avec son habileté ordinaire, les conditions dans lesquelles aucun ferment alcoolique ne se produit et où, par conséquent, il n'y a point fermentation. Cependant, pour avoir quelque chance de découvrir le ferment soluble, il faudrait d'abord se placer dans les conditions où ce ferment peut exister, c'est-à-dire en pleine fermentation alcoolique, sauf à réaliser, en outre, cette condition inconnue qui en exagérerait la production relative. Le problème subsiste donc tout entier, la démonstration donnée par M. Pasteur ne lui étant pas applicable.

Si l'on entre plus profondément dans la discussion générale des causes

1. Berthelot. Observations sur la Note de M. Pasteur, relative à la fermentation alcoolique. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXVII, 1878, p. 949-952. *Note de l'Édition.*)

de la fermentation, qui est au fond de cette question particulière, peut-être sera-t-il permis d'observer que M. Pasteur n'a pas davantage démontré cette antithèse séduisante par laquelle il oppose les êtres aérobies, qui consomment l'oxygène libre, et les êtres anaérobies, qui consommeraient l'oxygène combiné : une telle fonction est purement hypothétique. Jusqu'ici elle échappe même à la discussion, parce qu'on n'a jamais cité le moindre fait chimique pour la prouver. Précisons : si la levûre de bière prenait au sucre de l'oxygène combiné, on devrait retrouver dans les liqueurs le résidu désoxydé, par exemple $C^{12}H^{12}O^{11}$ ou $C^{12}H^{12}O^{10}$, ou les produits de sa décomposition. Ce qu'on retrouve en réalité, c'est de l'alcool et de l'acide carbonique, dont les poids réunis représentent à peu près le poids du sucre; ils le représentent avec le même degré d'approximation que l'on est accoutumé d'accepter comme démonstratif dans les équations ordinaires de la Chimie organique, et en négligeant de même les produits accessoires des métamorphoses secondaires. Si la levûre avait pris de l'oxygène au sucre, on aurait dû obtenir, au lieu d'acide carbonique, de l'oxyde de carbone, ou bien, au lieu d'alcool, de l'hydrure d'éthylène. Aucun fait connu ne nous autorise donc à dire, ni même à supposer, que les ferments aient la propriété chimique singulière d'enlever au sucre une portion de son oxygène combiné.

En tout cas, la Science m'a toujours paru, comme à Cl. Bernard, tendre à réduire l'action des ferments à des conditions purement chimiques, c'est-à-dire relativement simples, mais indépendantes de la vie, qui répond à un ensemble de phénomènes plus compliqués. C'est, en effet, ce qui a été réalisé successivement pour presque toutes les fermentations, comme le prouvent l'histoire de la fermentation glucosique de l'amidon dans l'orge germée, celle des corps gras dans l'intestin, celle de l'amygdaline dans les amandes, celle du sucre de canne s'intervertissant sous l'influence de la levûre, celle de l'urée dans l'urine, etc., etc. Deux ou trois cas seulement demeurent encore obscurs. Aussi, si la genèse des ferments figurés relève de phénomènes biologiques, comme les travaux de M. Pasteur l'ont démontré, d'autre part, on ne saurait méconnaître que la tendance générale de la Science moderne ne soit de ramener l'étude des métamorphoses matérielles produites dans les fermentations à des explications purement chimiques.

Je demande la permission de citer maintenant une expérience nouvelle, qui, si elle ne résout pas la question de la transformation du sucre en alcool par des agents inorganiques, semble cependant de nature à y apporter quelque lumière. Voici l'hypothèse dont il m'a paru intéressant de suivre les conséquences. Supposons que l'action du ferment consiste à dédoubler le sucre en deux produits complémentaires, l'un plus oxygéné, l'autre plus hydrogéné, mode de dédoublement dont la réaction de la potasse sur les aldéhydes (corps comparables au glucose) nous fournit précisément l'exemple; ces deux produits exerceraient ensuite une action réciproque. Mais, l'énergie consommée dans le premier dédoublement ne pouvant être reproduite, on ne saurait régénérer le sucre primitif. Dès lors, en son lieu et place, apparaîtront les produits d'une décomposition nouvelle et plus profonde, tels que l'alcool et l'acide carbonique.

J'ai cherché à réaliser ces conditions d'hydrogénation et d'oxydation simultanées du sucre par l'artifice suivant. J'ai disposé une pile de 6 à 8 éléments Bunsen, dont les deux pôles étaient en relation avec un commutateur oscillant, de façon à rendre tour à tour positifs et négatifs, douze à quinze fois par seconde, deux cylindres de mousse de platine jouant le rôle d'électrodes. Cet appareil, plongé dans de l'eau acidulée, développe, à chacun des deux pôles, tour à tour de l'hydrogène et de l'oxygène. En réglant convenablement l'appareil, aucun gaz ne se dégage, l'eau s'y reformant incessamment aussitôt après sa décomposition. C'est cet appareil, ainsi réglé, que j'ai plongé dans des solutions aqueuses de glucose, tantôt neutres, tantôt légèrement acides ou alcalines : j'espérais provoquer ainsi le dédoublement du sucre. J'ai obtenu en effet de l'alcool, mais en très petite quantité (quelques millièmes), la majeure partie du glucose ayant résisté. Une transformation aussi limitée n'autorise pas de conclusion définitive, car la limite peut résulter aussi bien de l'inexactitude de l'hypothèse fondamentale que de l'imperfection des conditions destinées à la réaliser : cependant le fait seul d'une production d'alcool, réalisée à froid et au moyen du sucre soumis à l'influence de l'électrolyse, m'a semblé digne d'être communiqué à l'Académie.

PREMIÈRE RÉPONSE A M. BERTHELOT (1)

(30 décembre 1878)

La réfutation que j'ai faite devant l'Académie des Notes posthumes de Claude Bernard a donné lieu, de la part de notre confrère M. Berthelot, dans la séance du 16 décembre, à une critique que je vais examiner.

Après avoir fait, au début de sa Note, une confusion non justifiée et inexacte, entre ses hypothèses personnelles et celles de Bernard, au sujet de l'existence d'un ferment alcoolique soluble, M. Berthelot ajoute :

« M. Pasteur me semble être resté étranger à cet ordre d'idées. Il n'a vu dans ces Notes qu'un texte à réfuter ; il a recherché aussitôt et trouvé, avec son habileté ordinaire, les conditions dans lesquelles aucun ferment alcoolique ne se produit et où, par conséquent, il n'y a point fermentation. Cependant, pour avoir quelque chance de découvrir le ferment soluble, il faudrait d'abord se placer dans des conditions où ce ferment peut exister, c'est-à-dire en pleine fermentation alcoolique, sauf à réaliser, en outre, cette

1. PASTEUR. Réponse à M. Berthelot. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 30 décembre 1878, LXXXVII, p. 1053-1058. (*Note de l'Édition.*)

condition inconnue qui en exagérerait la production relative. Le problème subsiste donc tout entier, la démonstration donnée par M. Pasteur ne lui étant pas applicable. »

Peut-être aurais-je pu prévoir que, derrière l'obstacle dressé inopinément contre mes travaux par la publication du manuscrit posthume de Claude Bernard, je trouverais notre confrère M. Berthelot ; mais jamais je ne me serais attendu aux appréciations que je viens de reproduire.

Par quel artifice de dialectique subtile M. Berthelot peut-il produire des assertions, suivant moi, aussi contraires à l'évidence ? La chose mérite d'être contée, parce que dans les discussions scientifiques il y a un intérêt particulier à dégager les questions de méthode et de logique. Je crois l'avoir fait avec impartialité pour le manuscrit de Bernard ; je vais tenter de le faire également pour la Note de M. Berthelot.

Notre confrère est l'auteur de trois hypothèses concernant l'existence possible d'un ferment alcoolique soluble dans la fermentation alcoolique proprement dite ; les voici :

1° Dans la fermentation alcoolique il se produit peut-être un ferment alcoolique soluble.

2° Ce ferment soluble se consomme peut-être au fur et à mesure de sa production.

3° Il y a peut-être des conditions dans lesquelles ce ferment hypothetique se produirait en dose plus considérable que la quantité détruite.

Ces hypothèses de M. Berthelot sont absolument gratuites ; jamais, à ma connaissance, notre confrère ne s'est donné la peine de les présenter avec honneur au public, c'est-à-dire en les accompagnant d'observations et d'expériences personnelles. N'aurais-je pas été singulièrement naïf en donnant à ces hypothèses de notre confrère, à ces vues de l'esprit si habilement conçues qu'elles déjouent toute contradiction expérimentale, en leur donnant, dis-je, une considération que lui-même ne leur a jamais accordée ? Eh bien, c'est précisément cette naïveté que je n'ai pas eue que M. Berthelot dénonce dans l'étrange alinéa que je viens d'extraire de sa Note. Quoique dans cet alinéa l'écrit posthume de Bernard soit mentionné, il n'en est question, à vrai dire, que pour donner le change au lecteur. M. Berthelot ne peut ignorer que dans ma réfutation du 25 novembre j'ai suivi Bernard dans ses idées et dans ses expériences. Dès lors, lorsque M. Berthelot dit : *M. Pasteur est resté étranger à cet ordre d'idées*, ce n'est pas des idées de Bernard qu'il s'agit, comme on peut le croire ; il s'agit de ses

idées à lui, M. Berthelot, c'est-à-dire des trois hypothèses que je viens de rappeler. Lorsque M. Berthelot dit : *Le problème subsiste donc tout entier*, ce n'est pas du problème posé par Bernard qu'il s'agit, et que Bernard croyait avoir résolu, c'est de son problème à lui, M. Berthelot, problème imaginé par ses hypothèses personnelles.

Claude Bernard a fait, lui aussi, des hypothèses sur l'existence d'un ferment alcoolique soluble : elles remplissent son écrit posthume; mais, à la différence de M. Berthelot, Bernard a institué des expériences nombreuses pour vérifier l'exactitude de ses vues. J'ai donc pu prendre corps à corps les expériences de Bernard et démontrer qu'il s'était trompé. Lorsque, à l'exemple de Claude Bernard, M. Berthelot aura tenté d'appuyer par l'expérience ses hypothèses, aujourd'hui sans valeur parce qu'elles sont toutes gratuites, s'il découvre un ferment alcoolique soluble, j'applaudirai à sa découverte, qui sera des plus intéressantes et ne me gênera aucunement; mais s'il arrive à des conclusions contraires aux principes que j'ai établis, je l'assure ici que je m'empresserai de faire pour son travail ce que j'ai fait pour celui de Bernard, c'est-à-dire que je m'efforcerai d'en montrer les défaillances et l'impuissance. Jusque-là je n'ai pas à me préoccuper de ses vues préconçues, qui ne sauraient atteindre des faits et des conclusions que je crois avoir rigoureusement démontrés.

Je passe à un second ordre d'arguments de M. Berthelot :

« Si l'on entre, dit-il, plus profondément dans la discussion générale des causes de la fermentation, qui est au fond de cette question particulière, peut-être sera-t-il permis d'observer que M. Pasteur n'a pas davantage démontré cette antithèse séduisante par laquelle il oppose les êtres aérobies, qui consomment l'oxygène libre, et les êtres anaérobies, qui consommeraient l'oxygène combiné : une telle fonction est purement hypothétique; jusqu'ici elle échappe même à la discussion, parce qu'on n'a jamais cité le moindre fait chimique pour la prouver. »

M. Berthelot parle ensuite de produits désoxydés, d'équation de la fermentation, etc. A lire ce passage, ne dirait-on pas que, dans ce que j'ai écrit sur l'existence et l'opposition de propriétés d'êtres qui consomment de l'oxygène libre et d'êtres qui font leurs matériaux oxygénés à l'aide de combinaisons oxygénées toutes faites, je n'ai produit que des hypothèses gratuites, un système séduisant par l'antithèse qui s'y trouve mêlée, et que je n'aurais eu le droit de poser des conclusions que si j'avais découvert dans les liquides de fermentation des corps se représentant par du sucre moins 1 ou 2 équivalents d'oxygène, que si dans la fermentation l'oxyde de carbone apparaissait au lieu d'acide carbonique, l'hydrure d'éthylène au lieu de l'alcool?...

Ces extraits de la Note de M. Berthelot ne me surprennent pas moins que le passage que j'ai rappelé tout à l'heure. M. Berthelot me somme, en quelque sorte, de faire connaître la physiologie des êtres que j'ai appelés *anaérobies*. Ce serait merveilleux vraiment que de la posséder, et M. Berthelot sait très bien que je n'ai jamais eu cette prétention. Connaît-on l'équation de la nutrition des êtres aérobies grands ou petits? Et depuis quand, demanderai-je à notre confrère, un progrès acquis peut-il être compromis par un progrès qui ne l'est pas encore? Le progrès acquis, le progrès que je revendique, le progrès considérable à mes yeux, dans l'histoire de la fermentation, c'est d'avoir prouvé qu'il existe des êtres anaérobies, des êtres vivant sans air, et que ces êtres sont des ferments; c'est d'avoir prouvé que les fermentations proprement dites sont corrélatives d'actes de nutrition, d'assimilation et de génération accomplis en dehors de toute participation du gaz oxygène libre. N'est-il pas évident que, dans ces conditions, tous les matériaux qui composent le corps de ces êtres sont empruntés à des combinaisons oxygénées? L'être aérobie fait la chaleur dont il a besoin par les combustions résultant de l'absorption du gaz oxygène libre : l'être anaérobie fait la chaleur dont il a besoin en décomposant une matière dite *fermentescible* qui est de l'ordre des substances explosibles, susceptibles de dégager de la chaleur par leur décomposition. A l'état libre, l'être anaérobie est souvent si avide d'oxygène, que le simple contact de l'air *le brûle* et le détruit, et c'est dans cette affinité pour l'oxygène, j'imagine, que réside le premier principe d'action de l'organisme microscopique sur la matière fermentescible. Avant de pouvoir donner de la chaleur par leur décomposition, il faut bien que ces matières soient provoquées à se décomposer.

Jamais on n'est entré plus profondément, ce me semble, dans la cause des fermentations proprement dites, et je ne ferai pas à notre confrère M. Berthelot l'injure de croire qu'il ne saisit pas toute la portée des faits que je viens de rappeler.

Voici un troisième ordre d'arguments de M. Berthelot :

« La Science, dit-il, m'a toujours paru, comme à Claude Bernard, tendre à réduire l'action des ferments à des conditions purement chimiques, indépendantes de la vie, qui répond à un ensemble de phénomènes plus compliqués. »

Je comprends mal le second membre de cette phrase, mais je saisis assez le sens de l'alinéa dans son ensemble pour affirmer que cette appréciation historique de notre confrère est tout à fait contraire,

suivant moi, à la vérité. En effet, lorsque, il y a vingt et un ans, j'ai présenté à l'Académie mon premier travail sur une des fermentations proprement dites [1], la doctrine chimique de ces phénomènes régnait pour ainsi dire sans partage. Les actions de diastases étaient déjà nombreuses, et, quant aux fermentations proprement dites, bien plus nombreuses aujourd'hui qu'à l'époque que je rappelle, on se plaisait à les expliquer par des actions chimiques. On disait : Les ferments sont des matières albuminoïdes altérées au contact de l'air. La levûre de bière elle-même n'agissait pas comme corps organisé, mais comme matière albuminoïde qui avait commencé à s'altérer au contact de l'air. Seul peut-être, au milieu de l'entraînement général, M. Dumas professait la doctrine plus ou moins vitaliste de Cagniard de Latour. La doctrine de Liebig était tellement en honneur, que Gerhardt venait de la développer de nouveau très longuement dans son *Traité de chimie organique* [2], et, quelques années auparavant, notre confrère M. Fremy [3] croyait se conformer aux faits en disant que la caséine, par une altération progressive au contact de l'air, est tantôt ferment alcoolique, tantôt ferment lactique, tantôt ferment butyrique.

Toutes ces opinions sont aujourd'hui abandonnées ou impossibles à soutenir, et dans la patrie même de Liebig elles n'ont plus un seul représentant. Il est admis généralement, en conformité des résultats de mes études, que les fermentations proprement dites doivent être considérées comme liées à des actions de nutrition accomplies dans des conditions particulières, notamment en dehors de la participation du gaz oxygène libre.

J'ajoute, en terminant, que c'est toujours une énigme pour moi que l'on puisse croire que je serais gêné par la découverte de ferments solubles dans les fermentations proprement dites ou par la formation de l'alcool à l'aide du sucre, indépendamment des cellules. Certainement, je l'avoue sans hésitation, et je suis prêt à m'en expliquer plus longuement si on le désire, je ne vois présentement ni la nécessité de l'existence de ces ferments ni l'utilité de leur fonctionnement dans cet ordre de fermentations. Pourquoi vouloir que les actions de *diastases*, qui ne sont que des phénomènes d'hydratation, se confondent avec celles des ferments organisés, ou inversement ? Mais je ne vois pas que la présence de ces substances solubles, si elle était constatée, puisse rien changer aux conclusions de mes travaux,

1. *Voir* p. 14-17 du présent volume : Mémoire sur la fermentation appelée lactique.
2. GERHARDT. Traité de chimie organique. *Paris*, 1856, 4 vol. in-8°.
3. BOUTRON et FREMY. Recherches sur la fermentation lactique. *Annales de chimie et de physique*, 3e sér., II, 1841, p. 257-274. *Notes de l'Édition.*

et moins encore si de l'alcool prenait naissance dans une action d'électrolyse.

On est d'accord avec moi lorsque : 1° on accepte que les fermentations proprement dites ont pour condition absolue la présence d'organismes microscopiques; 2° que ces organismes ne sont pas d'origine spontanée; 3° que la vie de tout organisme qui peut s'accomplir en dehors de l'oxygène libre est soudainement concomitante avec des actes de fermentation, qu'il en est ainsi de toute cellule qui continue de produire des actions chimiques hors du contact de l'oxygène.

M. Berthelot peut-il, oui ou non, contredire l'un ou l'autre de ces trois points, non par des vues *a priori*, mais par des faits sérieux? Si oui, que notre confrère veuille bien le dire; si non, il n'y a pas d'objet de discussion entre nous.

Deuxième critique de M. Berthelot (1)

(6 janvier 1879)

Entre mon éminent ami et confrère M. Pasteur et moi, la discussion générale me paraît épuisée : si nous sommes d'accord sur la plupart des questions d'origine et de genèse des ferments figurés, nous cessons de l'être sur les problèmes de Chimie biologique soulevés par la décomposition des principes fermentescibles; mais la diversité de nos points de vue est suffisamment manifestée, et je n'ai pas coutume de caractériser moi-même la méthode et la logique de mes contradicteurs : ce sont là des sujets que je préfère laisser au jugement du public compétent. Deux points seulement me paraissent devoir être relevés.

Il s'agit d'abord des Notes posthumes de Claude Bernard. M. Pasteur continue à rester étranger à l'ordre d'idées qui nous a conduit à regarder comme utile la publication des derniers essais de notre cher et regretté confrère. Ces Notes renfermaient seulement les commencements d'une série d'expériences, poursuivies ultérieurement pendant les deux derniers mois de sa vie, et dont la suite l'avait confirmé de plus en plus dans ses opinions. En cet état de choses, il ne s'agissait point, et j'avais pris soin de l'indiquer nettement dès l'origine, d'ouvrir une polémique sur un travail interrompu par la mort de son auteur, mais d'en conserver la trace dans la Science. On signalait ainsi une direction nouvelle et un sujet de recherches aux personnes qui auraient confiance dans les vues de notre illustre confrère; quant à celles qui ne partageraient pas ses opinions, elles étaient libres de ne pas s'en occuper, ou tout au plus de marquer brièvement leur dissidence.

1. BERTHELOT. Réponse à M. Pasteur. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXVIII, 1879, p. 18-20. (*Note de l'Édition.*)

J'arrive à la question des êtres qui emprunteraient au sucre, d'après M. Pasteur, de l'oxygène combiné, au lieu et place de l'oxygène libre que l'atmosphère leur fournit dans les conditions ordinaires de leur existence. C'est là une conjecture qui ne repose, pour reproduire le langage de notre confrère, sur aucun fait sérieux; mais c'est à l'auteur de cette théorie hypothétique qu'il incombe de la prouver, et non à ses contradicteurs. J'ai rappelé précédemment que la composition chimique des produits de la fermentation lui était opposée; j'ajouterai aujourd'hui que la composition chimique des principes immédiats du ferment ne paraît pas la confirmer davantage. Etant admis, en effet, que la levûre est un végétal qui se nourrit et se développe aux dépens de l'oxygène du sucre pendant la fermentation, la levûre ainsi formée devrait être plus riche en oxygène que la levûre initiale. Rien de pareil n'est signalé, ni dans les analyses de M. Pasteur, ni dans celles des nombreux savants qui se sont occupés de la composition chimique de la levûre. Ce qui paraît acquis, c'est que la levûre se nourrit et se multiplie, comme les autres végétaux, en formant de la cellulose, des matières grasses et des corps protéiques.

Or, la cellulose diffère du sucre uniquement par les éléments de l'eau : elle ne lui a donc pas emprunté un excès d'oxygène.

Les matières grasses sont moins oxydées que le sucre : leur formation ne saurait donc être attribuée qu'à une action réductrice, ce qui est le contraire d'une oxydation.

Enfin, les principes protéiques contenus dans la levûre, d'après les analyses de Mulder et de Schlossberger (citées dans le remarquable ouvrage de M. Schutzenberger sur *les Fermentations*, p. 56), s'ils dérivent du sucre, ne sauraient résulter que d'une réduction, car, en retranchant de leur composition l'oxygène à l'état d'eau, l'azote à l'état d'ammoniaque, il reste du carbone et un excès d'hydrogène, tandis que le sucre a la composition d'un hydrate de carbone (1).

Ce sont là des faits sérieux, positifs, acquis à la Science d'aujourd'hui. Aucune fraction d'oxygène ne semble donc avoir été empruntée au sucre par la levûre, *de préférence aux autres éléments*, pendant la fermentation alcoolique. La nutrition de ce végétal, de même que celle des autres plantes, résulte d'un ensemble complexe de transformations chimiques, ensemble qu'il serait, je crois, prématuré et même nuisible aux progrès de la Science de simplifier par la clarté apparente d'une pure supposition, fondée sur une antithèse physiologique. Assez de belles découvertes ont fondé la renommée de M. Pasteur, pour qu'il puisse renoncer sans dommage à une théorie si peu justifiée par les faits.

(1) La matière protéique de la levûre renferme :

	SCHLOSSBERGER.	MULDER.
C	55,5	53,3
H	7,5	7,0
Az	13,9	16,0
O	23,1	23,7
Hydrogène correspondant à l'oxygène	2,9	3,0
» à l'azote	3,0	3,4
Excès d'hydrogène	1,6	0,6

(*Note de Berthelot.*)

DEUXIÈME RÉPONSE A M. BERTHELOT [1]

(13 janvier 1879)

Je terminais ma première réponse à mon éminent ami et confrère M. Berthelot en signalant parmi les conclusions de mes études trois points principaux, et j'ajoutais que, si M. Berthelot ne pouvait les contredire ensemble ou séparément, non par des vues *a priori*, mais par des observations sérieuses, il n'y avait entre lui et moi aucun objet de discussion.

La seconde Note de M. Berthelot est muette sur ces trois points. Je pourrais donc me borner à exprimer ma satisfaction que le débat soit clos. Malheureusement, sur d'autres points que ceux auxquels je viens de faire allusion, M. Berthelot me prête des opinions et m'oppose des raisonnements que je ne saurais accepter. Cela m'oblige à une nouvelle réponse.

« Assez de belles découvertes ont fondé la renommée de M. Pasteur, dit obligeamment mon cher confrère, pour qu'il puisse renoncer sans dommage à une théorie si peu justifiée par les faits. »

Il s'agit ici des êtres anaérobies et de leur mode d'action sur les matières fermentescibles.

Lorsqu'en 1861 j'ai opposé, pour la première fois, l'existence et les propriétés de deux sortes d'êtres en les désignant par l'expression d'*aérobies* et d'*anaérobies*, ce n'est pas une théorie que j'ai faite. J'ai dit : Il existe des êtres qui ne peuvent vivre, qui ne peuvent se nourrir sans assimiler de l'oxygène libre; ce sont les aérobies : ils ne sont pas ferments. Il existe une autre classe d'êtres pouvant vivre, se nourrir en dehors de toute participation du gaz oxygène libre, par conséquent en empruntant forcément tout l'oxygène de leurs principes immédiats à des combinaisons, notamment à la matière fermentescible qui est toujours oxygénée : dans ces conditions, ces êtres sont ferments [2]. Mon travail sur ce sujet, son originalité, sont là tout entiers [3].

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 13 janvier 1879, LXXXVIII, p. 58-61.

2. PASTEUR. Animalcules infusoires vivant sans gaz oxygène libre et déterminant des fermentations. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LII, 1861, p. 344-347 et p. 136-138 du présent volume. — Expériences et vues nouvelles sur la nature des fermentations. *Ibid.*, p. 1260-1264 et p. 142-147 du présent volume.

Les termes d'*aérobie* et d'*anaérobie* ne furent proposés par Pasteur qu'en 1863. *Voir* Recherches sur la putréfaction. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LVI, 1863, p. 1189-1194, et p. 175-181 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

3. L'eau pourrait intervenir, mais le résultat définitif n'en serait point changé.

Tout cela n'a rien de théorique : c'est une situation physiologique nouvelle, c'est l'expression des faits. Mais quel est le premier principe de l'action décomposante de la matière fermentescible par l'être microscopique anaérobie? M'appuyant encore sur un fait, et que j'avais grandement contribué à mettre en évidence, à savoir l'affinité de ces êtres pour l'oxygène libre qui peut les tuer et même les détruire, j'ai conjecturé que dans cette affinité pouvait bien résider le principe d'action du ferment vivant par rapport à la matière fermentescible. Refuser à un observateur qui est arrivé par l'expérience au point où j'en étais, lui refuser, dis-je, le droit d'une induction intimement liée à des faits indiscutables, c'est vouloir vraiment couper les ailes à l'induction la plus légitime. Encore faudrait-il que M. Berthelot eût des observations ou des raisonnements à m'opposer. Des faits, il n'en a pas. Quant à ses raisonnements, j'en fais juges nos confrères :

« Étant admis, dit-il, que la levûre est un végétal qui se nourrit et se développe aux dépens de l'oxygène du sucre pendant la fermentation, la levûre ainsi formée devrait être plus riche en oxygène que la levûre initiale.... »

Comment notre confrère ne s'est-il pas dit que la levûre, après avoir pris l'oxygène, pourrait bien le rendre aussitôt à l'état d'acide carbonique, qui est un produit constant des fermentations proprement dites? Et pourquoi M. Berthelot ne demande-t-il pas à la levûre vivant au contact de l'atmosphère, qui dans ce cas prend, à n'en pas douter, de l'oxygène à l'air et le porte sur ses aliments, pourquoi, dis-je, ne demande-t-il pas à cette levûre des produits plus oxygénés que les principes immédiats qui lui sont propres? Le raisonnement de M. Berthelot est donc de tous points inacceptable. Ce qui doit plus étonner encore, c'est que, au moment où M. Berthelot se refuse à la plus analogique des conjectures, il se livre, lui, à une conjecture tout à fait gratuite, à savoir que l'être microscopique agit sur la matière fermentescible par la sécrétion d'un produit chimique de la nature des *diastases*.

J'arrive au deuxième point traité par M. Berthelot :

« M. Pasteur, dit-il, continue à rester étranger à l'ordre d'idées qui nous a conduit à regarder comme utile la publication des derniers essais de notre cher et regretté confrère.... Il ne s'agissait point d'ouvrir une polémique sur un travail interrompu par la mort de son auteur, mais d'en conserver la trace dans la Science.... Les personnes qui ne partageraient pas les opinions de notre illustre confrère étaient libres de ne pas s'en occuper ou tout au plus de marquer brièvement leur dissidence. »

Quoique M. Berthelot se défende « d'avoir la coutume de carac-

tériser lui-même la méthode et la logique de ses contradicteurs », qu'il me permette de lui dire que c'est ce qu'il fait ici de la manière la plus directe. C'est son droit, comme c'était le mien vis-à-vis de Bernard et de lui-même; je ne l'en blâme donc aucunement, mais je dois faire observer qu'il en use dans des termes qui ne sont pas du tout conformes à la vérité de l'Histoire, car c'est d'Histoire qu'il s'agit.

L'utilité, en effet, de la publication des derniers essais de Bernard m'a toujours paru parfaitement justifiée, et je suis le premier à remercier M. Berthelot de l'avoir faite. Il doit savoir pertinemment que je ne me suis pas associé aux regrets de ceux qui auraient désiré qu'il me donnât connaissance du manuscrit avant de le mettre au jour. C'était là, suivant moi, affaire d'appréciation personnelle, et je n'ai pas coutume de caractériser la conduite de mes amis, si ce n'est pour leur prêter des intentions élevées. Ce que j'ai reproché à notre confrère, ce que je lui reproche encore, parce qu'il s'agit ici d'un principe scientifique d'ordre supérieur, c'est d'avoir fait cette publication sans l'accompagner d'un commentaire expérimental, afin « de reporter à Bernard, ainsi que je le disais devant l'Académie au mois de juillet dernier, l'honneur de ce qu'il pouvait y avoir de bon dans son manuscrit, en dégageant sa responsabilité pour ce qu'il pouvait renfermer d'incomplet et de défectueux ».

Qui donc oserait blâmer un ami de publier un écrit trouvé dans les papiers d'un confrère illustre? La vérité, je parle de la vérité scientifique, ne doit jamais être placée sous le boisseau; toutefois, c'est à la condition qu'elle soit la vérité, car, si l'écrit posthume n'est qu'erreur, la publication qui en est faite n'est plus qu'une atteinte gratuite à l'honneur scientifique d'une mémoire respectée.

M. Berthelot, comme je l'ai rappelé tout à l'heure, ajoute qu'il n'avait pas l'intention, par cette publication, d'ouvrir une polémique. Mais pouvais-je, moi, me dispenser de m'y livrer en présence des conclusions de Bernard, qui sont la condamnation absolue et sans réserve de celles que j'ai déduites de mes travaux? C'était mon devoir d'agir comme je l'ai fait, et je puis ajouter sans présomption que j'y ai mis une certaine vaillance. Jamais, peut-être, dans ma carrière déjà longue, je n'avais fait tant d'efforts que pendant l'année 1878 : nos *Comptes rendus* en font foi; jamais, par suite, je n'avais eu un besoin aussi impérieux de repos. Or, j'ai consacré toutes les vacances dernières au contrôle expérimental de l'écrit posthume de Bernard, et j'en éprouve encore une extrême fatigue. J'ai fait ce qu'aurait dû faire M. Berthelot avant de mettre au jour les Notes de notre cher et regretté confrère.

Troisième critique de M. Berthelot [1]

(20 janvier 1879)

Je n'avais pas l'intention de poursuivre la discussion sur les fermentations, commencée avec M. Pasteur, au delà du terme où chacun de nous aurait produit son opinion et les faits positifs sur lesquels elle lui paraît appuyée. Je pensais avoir distingué suffisamment entre les belles découvertes biologiques de mon savant ami, relatives à l'origine, au développement et à la multiplication des êtres microscopiques qui propagent les fermentations, découvertes sur lesquelles il n'y a point de discussion entre nous, et les suppositions chimiques peu vraisemblables qu'il a exposées trop souvent comme des faits certains et vérifiés au même degré que ses observations biologiques. Rien n'est moins fondé, à mon avis : je n'insisterais point, s'il ne pouvait résulter un grave dommage pour la Science de cette confusion perpétuelle et presque inconsciente entre ce qui est prouvé et ce qui ne l'est pas.

La deuxième réponse de mon éminent ami débute en effet par une déclaration qui m'oblige à rentrer dans le débat : il a la prétention d'interpréter mon silence sur trois propositions, auxquelles il attache une importance spéciale, et de le traduire par un assentiment : or je n'accepte ni cette interprétation ni les cadres absolus que M. Pasteur voudrait imposer à la controverse.

Je me suis déjà expliqué très nettement sur les théories chimiques de M. Pasteur. Sa dernière Note montre une fois de plus et il reconnaît lui-même qu'elles ne reposent point sur des faits positifs. Jusqu'à ce jour, M. Pasteur avait affirmé d'ordinaire comme des vérités acquises ce qu'il est obligé maintenant de reconnaître pour de simples conjectures, tout à fait analogues à celles qu'il veut interdire à ses contradicteurs. La conjecture et l'hypothèse sont légitimes, sans aucun doute, dans la Science, mais à la condition de ne pas les imposer au lecteur et d'en maintenir le véritable caractère, ce que j'ai toujours pris soin de faire d'abord. Les affirmations catégoriques sont moins conformes à la vraie méthode, quels que soient les avantages qu'elles procurent dans la polémique. Précisons l'état actuel de la question.

Notre savant confrère déclarait naguère que la levûre de bière est un être anaérobie, capable d'enlever au sucre de l'oxygène combiné à défaut d'oxygène libre. Il reconnaît aujourd'hui que cette propriété n'est point démontrée ; je n'ai jamais dit autre chose, mais je me suis gardé d'annoncer à l'avance que j'attaquerais les expériences qu'il pourrait faire plus tard, si elles ne confirmaient pas mes opinions. Aujourd'hui, sans produire aucun fait positif, il suppose que la levûre *pourrait* prendre de l'oxygène au sucre, pour le rendre aussitôt à l'état d'acide carbonique.

C'est encore là une simple hypothèse, dont la démonstration, je ne

1. BERTHELOT. Observations sur la deuxième réponse de M. Pasteur. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXVIII, 1879, p. 103-106. (*Note de l'Édition*).

cesserai de le répéter, incombe à celui qui la produit dans la Science. S'il est vrai que la levûre soumise à l'action de l'oxygène libre fournisse de l'acide carbonique, rien ne prouve et même rien ne rend vraisemblable qu'elle doive en dégager encore en l'absence de l'oxygène libre; les changements profonds qui surviennent alors dans son mode d'existence rendent cette supposition fort douteuse. Fût-il même établi que la levûre dégage de l'acide carbonique dans ces conditions, il n'en résulterait nullement qu'elle prît au sucre de l'oxygène, *de préférence aux autres éléments.*

Cette démonstration ne pourrait résulter que de la connaissance précise de l'équation chimique en vertu de laquelle l'acide carbonique serait formé, équation que M. Pasteur ne nous a point fait connaître; cependant elle peut être telle que le sucre cède à la fois tous ses éléments [1], ou même qu'il cède à la levûre de l'hydrogène de préférence.

Quant à présent, tout ce qu'il est permis de dire, c'est que les faits connus ne sont pas favorables à la supposition de M. Pasteur.

En effet, les relations chimiques qui existent, et que j'ai rappelées précédemment, entre le sucre et les principes immédiats constitutifs d'une levûre qui se multiplie, montrent qu'aucun de ces principes ne résulte d'une oxydation, mais que plusieurs sont plus riches en hydrogène que le sucre : il semble donc que la levûre enlève au sucre, aux dépens duquel elle se développe, *non de l'oxygène, mais, au contraire, de l'hydrogène combiné*, de préférence aux autres éléments, ce qui est d'ailleurs plus conforme à ce que nous savons en général de la physiologie des végétaux.

Il ne me paraît pas non plus établi que « les fermentations proprement dites aient pour condition absolue la présence d'êtres microscopiques ». Mes doutes à cet égard ne sont pas fondés sur des vues *a priori*, mais sur les faits acquis à la Science par l'étude expérimentale des fermentations glucosique, amygdalique, uréique, acétique, etc., etc. L'expérience a prouvé que la condition déterminante de chacune de ces fermentations est chimique, loin d'être essentiellement vitale ou physiologique. On ne saurait échapper à cette conclusion, à moins de définir les fermentations proprement dites par les organismes microscopiques eux-mêmes, ce qui est un pur cercle vicieux.

Réciproquement, la coïncidence entre la vie des organismes qui se développent en dehors de la présence de l'oxygène libre et les actes de fermentation qu'ils sont censés produire ne me paraît pas davantage ni démontrée d'une manière générale ni nécessaire, à moins de définir fermentation toute « action chimique accomplie hors du contact de l'oxygène » dans les êtres vivants, ce qui est encore un pur cercle vicieux.

En fait, la plupart des liquides contenus dans l'épaisseur des tissus végétaux sont exempts d'oxygène libre, parce qu'ils renferment des principes immédiats très oxydables, lesquels absorbent rapidement l'oxygène de l'air dissous dans les régions superficielles ou dans les lacunes, soit en vertu de leur action propre, soit avec le concours des conditions complexes réalisées par les cellules vivantes. Tel est notamment le cas du jus de

1. Par exemple, s'il se formait en même temps de l'alcool; ce qui a lieu, en effet, avec la levûre prise isolément. (*Note de Berthelot.*)

raisin, du jus de betterave et de presque tous les jus sucrés contenus dans les cellules végétales. La vie de la plupart des cellules végétales, et même animales, s'accomplit donc dans des milieux privés d'oxygène libre. Cependant le sucre n'y fermente point, par le simple fait de la vie des cellules accomplie en dehors du contact de l'oxygène ; il n'y fermente point tant que des conditions chimiques toutes spéciales ne viennent pas à être réalisées.

Inversement, la transformation du sucre en alcool (ou en acide lactique) s'effectue également soit dans un milieu exempt d'oxygène libre, soit dans un milieu qui en renferme. Le fait est bien connu depuis longtemps et M. Pasteur en a fourni lui-même de nouvelles preuves. Sans examiner si les milieux non oxygénés seraient plus favorables à la multiplication de la levûre, comme M. Pasteur a cherché à l'établir [1], mais ce qui est une question toute différente, il n'en est pas moins vrai que ce milieu n'est nullement indispensable pour l'accomplissement de l'acte chimique de la fermentation elle-même [2]. Si cet acte résultait de l'absorption par la levûre d'une certaine dose d'oxygène combiné, pris au sucre à défaut de l'oxygène libre indispensable à la vie des cellules de levûre, on ne comprendrait pas pourquoi les cellules qui trouvent autour d'elles de l'oxygène libre iraient provoquer la fermentation alcoolique en s'emparant de l'oxygène combiné. Ce n'est donc pas là la condition déterminante de la fermentation.

D'après ces faits acquis à la Science, et quelle que soit la difficulté que présente, dans une discussion, la vague et élastique généralité des assertions relatives à la vie sans air et à ses relations avec la fermentation, il me paraît cependant permis d'affirmer qu'en général la vie sans air n'est pas la fermentation, pas plus que la fermentation en général n'est la vie sans air. Il n'existe point de corrélation chimique nécessaire entre ces deux ordres de phénomènes. Cl. Bernard le déclarait, et je partage son opinion.

TROISIÈME RÉPONSE A M. BERTHELOT [3]

(27 janvier 1879)

Mon savant confrère M. Berthelot écrivait le 6 janvier :

« .... Je n'ai pas coutume de caractériser moi-même la méthode et la logique de mes contradicteurs : ce sont là des sujets que je préfère laisser au jugement du public compétent. »

1. C'est l'inverse que j'ai établi pour la levûre de bière. (*Note ajoutée par Pasteur.*)

2. Déjà M. Schutzenberger a fait sur ce point des remarques qui me semblent parfaitement fondées. (*Note de Berthelot.*)

3. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 27 janvier 1879, LXXXVIII, p. 135-137. (*Note de l'Édition.*)

Malheureusement, l'homme est ondoyant et divers, car voici le jugement que M. Berthelot porte sur ma méthode et ma logique au commencement de sa dernière Note, à laquelle je réponds :

« .... Je n'insisterais point, s'il ne pouvait résulter un grave dommage pour la Science de cette confusion perpétuelle et presque inconsciente entre ce qui est prouvé et ce qui ne l'est pas. »

Il y a à ce jugement, qui donne un si gros démenti à la solennelle déclaration du 6 janvier, une contre-partie piquante :

« .... La conjecture, dit-il, et l'hypothèse sont légitimes, sans aucun doute, dans la Science, mais à la condition de ne pas les imposer au lecteur et d'en maintenir le véritable caractère, ce que j'ai toujours pris soin de faire d'abord. »

Voilà donc nos mérites respectifs bien et dûment appréciés : moi, je confonds perpétuellement et inconsciemment ce qui est prouvé et ce qui ne l'est pas ; M. Berthelot a toujours pris soin de ne pas commettre cette faute. Voyons si cette double appréciation, ramenée aux dimensions de la vérité, ne se transformerait pas dans celle de cette vieille et toujours jeune histoire de la paille et de la poutre.

L'Académie sait, à n'en pas douter, de quoi il s'agit. La discussion porte sur la question des êtres *anaérobies* et sur la manière dont ils se comportent vis-à-vis des substances fermentescibles. C'est sur ce point que M. Berthelot nous assure qu'il sépare toujours nettement pour le lecteur ce qui est prouvé de ce qui ne l'est pas. Mais comment pourriez-vous faire autrement? dirai-je à mon savant ami. Vous avez fait des hypothèses sur le point en litige, et non des observations ou des expériences qui vous soient personnelles ; aussi la séparation que vous vous targuez d'avoir toujours faite entre ce qui est prouvé et ce qui ne l'est pas était chose inutile ou tout accomplie. Vos hypothèses étant seules, vous n'aviez pas à les séparer de ce que vous aviez prouvé.

Considérons d'autre part le jugement porté par mon savant confrère sur la manière dont j'interprète les résultats de mes propres recherches.

Il y a près de vingt-deux ans que j'ai commencé l'étude des fermentations proprement dites, puisque mon Mémoire sur la fermentation lactique a été lu à l'Académie le 30 novembre 1857 (1). Il y a dix-huit ans, le 25 février 1861 (2), que j'ai annoncé l'existence d'êtres *anaérobies* et leur caractère de ferments animés. Qu'on me permette d'insister, en passant, sur ces deux intervalles de vingt-deux ans et de

1. *Voir* ce Mémoire p. 14-17 du présent volume.
2. *Voir* p. 136-138 du présent volume : Animalcules infusoires vivant sans gaz oxygène libre et déterminant des fermentations. (*Notes de l'Édition.*)

dix-huit ans de travaux ininterrompus, et de faire remarquer que mes contradicteurs actuels, MM. Trécul [1] et Berthelot, en sont, le premier à rechercher des preuves que j'ai pu me contredire, ce à quoi il ne parvient qu'en altérant des textes et en changeant l'acception vulgaire des mots, le second, M. Berthelot, à discuter sur une pointe d'aiguille les déductions les plus légitimes. Quel bon point, ajouterai-je en conséquence, donné par mes savants contradicteurs à la rigueur de mes études, et quels services ils rendent à celles-ci en prétendant les affaiblir!

Quoi qu'il en soit, le jugement de M. Berthelot existe : *je confonds perpétuellement et presque inconsciemment ce qui est prouvé et ce qui ne l'est pas.* Je l'avoue avec empressement : à l'exemple de mes maîtres et de tous ceux qui ont le souci de la dignité du travail scientifique, à l'exemple, par conséquent, de mon éminent ami M. Berthelot, je ne crois pas avoir jamais produit une recherche quelconque sans la faire suivre de déductions ou d'inductions. M. Berthelot dit dans sa dernière Note : « *La conjecture et l'hypothèse sont légitimes dans la Science....* » Je suis complètement de cet avis, mais je préférerais qu'il eût dit *l'induction* au lieu de *l'hypothèse*. La signification de ces deux expressions n'est pas du tout la même. L'hypothèse est toujours plus ou moins loin des faits, l'induction les touche et leur est enchaînée. Or, que M. Berthelot me permette de le lui dire avec courtoisie, c'est ici que s'établit nettement, dans le débat actuel, la grande différence de nos méthodes respectives et de notre logique. J'ai la prétention de faire des inductions, tandis que mon confrère fait des hypothèses. Précisons ce double caractère.

En 1861 [2], je découvre que :

1° Le ferment de la fermentation butyrique est un vibrion;

2° Ce vibrion peut vivre dans un milieu purement minéral qui tient en dissolution du sucre ou du lactate de chaux;

3° Ce vibrion vit, se nourrit, se multiplie, s'engendre en dehors de toute participation du gaz oxygène libre;

4° Le contact de l'air le tue. En faisant passer un courant de gaz acide carbonique dans la liqueur où il va, vient, se divise par scission..., il continue de vivre, de se mouvoir, de s'engendrer. Au contraire, un courant d'air le fait tomber sans vie au fond des vases et arrête la fermentation qu'il déterminait auparavant.

1. *Voir* p. 478-481 du présent volume : Discussion avec M. Trécul sur les aérobies et les anaérobies.

2. *Voir* p. 136-138 du présent volume : Animalcules infusoires vivant sans gaz oxygène libre et déterminant des fermentations. (*Notes de l'Édition.*)

Ce sont là des résultats d'une grande valeur à mon sens, qui ont inauguré une physiologie nouvelle et je suis surpris que, après dix-huit années de développements et d'exemples nouveaux d'êtres anaérobies, Claude Bernard paraisse en avoir méconnu la vérité, et que notre confrère M. Berthelot nous assure, à la fin de sa Note, qu'il est bien près d'en faire autant.

En présence des beaux phénomènes que je rappelle, pouvais-je ne pas y voir une lumière inattendue sur le mystérieux phénomène de la fermentation? Pouvais-je ne pas tirer de ces faits une induction? Je dis *induction*, et non pas *hypothèse*. Oui, j'ai mis en rapport, dans une induction très légitime, bien plus, obligée, le caractère de vie sans air et le caractère ferment, et je crois en avoir donné des preuves. N'y aurait-il d'ailleurs que les preuves de fait et de coïncidence, reconnues depuis lors, que mon induction me paraîtrait inattaquable dans l'état actuel de la Science. Ces preuves de fait et de coïncidence, les voici : toutes les fois qu'il y a vie sans air, il y a fermentation proprement dite; toutes les fois qu'il y a fermentation proprement dite, on peut constater l'existence de la vie sans air, même dans le cas où l'oxygène libre intervient pour compliquer le phénomène, comme dans le cas de la fermentation alcoolique par la levûre, au contact de l'air.

En résumé, la vie sans air, dans le cas des vibrions butyriques et chez tous les anaérobies qui ont été découverts jusqu'à présent, se montrant associée à la fermentation, c'est là qu'il faut chercher, suivant moi, l'explication du mystère des fermentations proprement dites. Sans avoir jamais eu la prétention d'entrer dans l'intimité des phénomènes, je remarque que, dans les cas de fermentation d'une matière fermentescible dans un milieu minéral, en dehors de toute participation du gaz oxygène libre et avec semence des germes de l'être anaérobie, celui-ci emprunte forcément tout le carbone et tout l'oxygène de ses matériaux au carbone et à l'oxygène de la matière fermentescible. L'organisme, tant qu'il vit, tant qu'il n'est pas transformé en corpuscules-germes (tels que ceux-ci n'ont pas repris leur vie active), tant qu'il y a de la matière fermentescible à décomposer, l'organisme touche à celle-ci incessamment et lui enlève les éléments carbone et oxygène. Il les réunit ensuite à sa manière par cette chimie vivante dont le secret nous échappe, il les réunit avec l'azote, le phosphore, le soufre, le potassium, etc. J'en conclus, et voici toute mon induction, que là est le principe de l'action décomposante qu'exerce le ferment vivant. Dans les faits que j'énumère, rien d'hypothétique, rien de donné à l'imagination. Quant à l'induction, n'est-elle pas enchaînée à ces faits?

Veut-on traduire cette induction dans le langage nouveau de la

théorie de la chaleur? on dira : L'être aérobie fait la chaleur dont il a besoin par les combustions résultant de l'absorption du gaz oxygène libre; l'être anaérobie fait la chaleur dont il a besoin en décomposant une matière dite *fermentescible* qui est de l'ordre des substances explosibles, susceptibles de dégager de la chaleur par leur décomposition. A l'état libre, l'être anaérobie est souvent si avide d'oxygène, que le simple contact de l'air le *brûle* et le détruit, et c'est dans cette affinité pour l'oxygène que doit résider, sans doute, le premier principe d'action de l'organisme microscopique sur la matière fermentescible. Avant de pouvoir donner de la chaleur par leur décomposition, il faut bien que ces matières soient provoquées à se décomposer.

Voyons maintenant ce qu'est l'hypothèse. C'est M. Berthelot qui va nous en fournir l'exemple. Cet exemple, vous le connaissez déjà; je l'ai rappelé dans ma première réponse à M. Berthelot (séance du 30 décembre dernier). M. Berthelot n'a rien observé au sujet des anaérobies; mais, guidé par le fait de l'existence de *diastases* dans des phénomènes qui, dès le début de mes recherches, ont dû être distinguées des fermentations que j'ai appelées *proprement dites*, qui sont aujourd'hui toutes les fermentations avec vie sans air, il fait les suppositions suivantes :

1° Dans la fermentation alcoolique il se produit peut-être un ferment alcoolique soluble.

2° Ce ferment soluble se consomme peut-être au fur et à mesure de sa production.

3° Il y a peut-être des conditions dans lesquelles ce ferment hypothétique se produirait en dose plus considérable que la quantité détruite.

Voilà le caractère de l'hypothèse, de l'hypothèse sans lien obligé avec les faits, de l'hypothèse revêtant toutes les formes, comparable à une cire molle dont on fait ce que l'on veut, à laquelle on ajoute ou l'on retranche à volonté, parce qu'elle n'est qu'une production de l'imagination.

Des hypothèses comme celles-ci, ah! qu'elles donnent peu de peine, qu'elles coûtent peu d'efforts! Tous tant que nous sommes, chercheurs du vrai, et qui ne pouvons nous livrer à cette tâche ardue que par les idées d'expérimentation que nous suggère notre imagination, de telles hypothèses, pardonnez-moi la vulgarité de l'expression, nous les brassons à la pelle dans nos laboratoires, elles remplissent nos registres de projets d'expériences, elles nous invitent à la recherche, et voilà tout. Entre M. Berthelot et moi il y a cette différence qu'à cette nature d'hypothèses jamais je ne fais voir le jour, si ce n'est lorsque j'ai reconnu qu'elles sont vraies et qu'elles permettent d'aller en avant. M. Berthelot, lui, les publie.

Quatrième critique de M. Berthelot [1]

(3 février 1879)

Dans la nouvelle Note de notre savant confrère, je relèverai seulement la partie scientifique, toute controverse sur les mérites comparés de l'induction et de l'hypothèse et sur nos droits respectifs d'y recourir étant sans intérêt pour l'Académie. Je rappellerai cependant, afin de justifier ma qualité dans le débat, que mon éminent ami m'avait sommé de produire mon opinion sur les questions mêmes pour lesquelles il récuse aujourd'hui ma compétence. Mais passons, et bornons-nous à résumer la discussion, de façon à marquer les points acquis et ceux qui réclament un nouvel éclaircissement.

1° Aucun fait positif n'a été produit pour démontrer que le sucre cède à la levûre de l'oxygène, de préférence aux autres éléments.

2° Aucun fait positif n'a été produit pour démontrer que la levûre se développe en prenant au sucre de l'oxygène, de préférence aux autres éléments. Au contraire, elle paraît prendre de l'hydrogène de préférence, ce qui est le contre-pied des affirmations de M. Pasteur.

3° Par conséquent, aucun fait positif ne prouve que la métamorphose chimique du sucre soit corrélative d'un mode exceptionnel de nutrition des êtres microscopiques, ce mode étant tel qu'ils enlèvent au sucre de l'oxygène combiné à défaut d'oxygène libre.

4° Aucun fait positif n'a été produit pour démontrer que la fermentation alcoolique ait pour condition essentielle l'absence de l'oxygène libre. Au contraire, l'expérience prouve que la fermentation alcoolique s'accomplit très bien en présence de l'oxygène libre.

5° Aucun fait positif n'a été produit pour démontrer que le sucre fermente « toutes les fois qu'il y a vie sans air ». Au contraire, l'observation courante prouve que le sucre circule sans altération à travers les cellules et tissus végétaux vivants, dans des milieux absolument privés d'oxygène libre.

6° Par conséquent, aucun fait positif ne prouve qu'il y ait en général coïncidence, et *a fortiori* corrélation, soit entre la vie sans air et la fermentation, soit entre la fermentation et la vie sans air.

C'est donc une assertion gratuite que de supposer en général que « le premier principe d'action de l'organisme microscopique sur la matière fermentescible... » doive « résider dans son affinité pour l'oxygène ». *A priori*, on peut imaginer qu'il y a des cas de ce genre ; on peut imaginer encore des cas contraires, aussi bien que des cas étrangers à cette double vue systématique ; mais rien n'est prouvé à cet égard.

Le doute relatif à l'existence réelle d'êtres organisés doués de la propriété de prendre l'oxygène combiné au sucre, en vertu d'une affinité spéciale, est d'autant plus autorisé, que *nous ne connaissons aucun principe*

1. Berthelot. Remarques sur la troisième réponse de M. Pasteur. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXVIII, 1879, p. 197-201. (*Note de l'Édition*.)

immédiat formé de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote qui puisse enlever à froid l'oxygène au sucre. Il s'agit donc d'une propriété exceptionnelle, contraire aux analogies chimiques, et qui réclamerait dès lors les démonstrations expérimentales les plus péremptoires pour être admise : or M. Pasteur n'a fourni, je le répète, aucune preuve pour l'établir.

Une seule assertion nouvelle, produite dans la dernière Note de notre savant confrère, mérite de nous arrêter. Il suppose que « l'être anaérobie fait la chaleur dont il a besoin en décomposant une matière fermentescible susceptible de dégager de la chaleur par sa décomposition ». C'est encore là une affirmation sans preuves, et même sans probabilités, comme je vais l'établir.

La question est grave et délicate; elle réclame quelques développements.

Que les fermentations dégagent de la chaleur, le fait est vulgaire depuis bien des siècles. J'ai moi-même, il y a une quinzaine d'années, pendant mes études sur les réactions endothermiques et exothermiques, appelé l'attention sur cette circonstance et sur sa nécessité théorique dans les fermentations, comme dans toutes les réactions développées sans le concours d'une énergie étrangère. Loin d'être exceptionnelle, c'est au contraire une condition fondamentale qui doit se retrouver dans la plupart des phénomènes de digestion et de nutrition des êtres vivants, sauf les réactions pour lesquelles intervient l'énergie de la lumière ou celle de l'électricité atmosphérique; elle doit servir de contrôle aux équations par lesquelles on représente l'assimilation des aliments au sein des tissus organisés.

Ainsi le cycle des transformations chimiques qui se produisent au sein des êtres vivants répond, en général, à un dégagement de chaleur, non seulement dans le cas des oxydations, mais aussi dans le cas des hydratations et des dédoublements : l'importance de cette seconde source thermique pour l'étude de la chaleur animale avait été longtemps méconnue, ou tout au plus vaguement entrevue; je l'ai mise en évidence, depuis 1865, par des calculs et des observations précises, relatifs aux amides, aux éthers, aux sucres, aux corps gras neutres, etc.

Or le développement des êtres anaérobies aurait lieu seulement en vertu de la seconde classe de réactions; il s'agit de savoir s'il ne se suffit pas à lui-même, sans le concours d'une fermentation simultanée. Par exemple, dans le cas de la fermentation alcoolique, la chaleur résulte de la métamorphose chimique du sucre. Maintenant, quelque fraction de la chaleur produite par la transformation chimique du sucre en alcool et en acide carbonique est-elle réellement absorbée pendant le développement simultané de la levûre, de façon à devenir la source de l'énergie consommée dans ce développement ? Il y a là une question préalable, qui fait tout l'intérêt de la discussion, et que M. Pasteur semble ne pas soupçonner.

Précisons cette question, en nous conformant à la marche correcte des raisonnements thermochimiques rigoureux. Un certain poids de sucre est donné et mis en présence d'un certain poids de levûre : voilà l'état initial. De certains poids d'alcool, d'acide carbonique, etc., et de levûre sont produits : voilà l'état final. Les relations de poids qui existent entre ces diverses matières, aussi bien que les quantités de chaleur dégagées, sont

indépendantes de toute hypothèse relative à la nature et à la connexion des transformations intermédiaires. Or, dans la métamorphose accomplie, le poids primitif du sucre peut être partagé en deux portions : la principale a fourni ses éléments à l'alcool et à l'acide carbonique, dont les poids réunis la représentent sensiblement ; cette réaction dégage de la chaleur : d'autre part, une faible portion du sucre a cédé quelques-uns de ses éléments à la levûre, en vertu de réactions mal connues. Ces réactions mal connues absorbent-elles de la chaleur, empruntée à celle que développe la métamorphose simultanée du sucre, laquelle serait ainsi la source de la chaleur dont l'être anaérobie a besoin ? ou bien dégagent-elles elles-mêmes de la chaleur, qui vient, au contraire, s'ajouter à la précédente, auquel cas la nutrition des êtres anaérobies n'aurait rien qui la distingue, sous le rapport thermique, de celle des êtres aérobies ? C'est ce que l'état présent de la Science ne permet pas de décider.

L'assertion de M. Pasteur est donc sans preuves.

J'ajouterai qu'elle est contraire aux probabilités, c'est-à-dire aux données qui ont cours aujourd'hui dans la chimie physiologique. En effet, la levûre, en se développant, donne naissance à trois groupes de principes immédiats, savoir : la cellulose, les matières grasses et les substances albuminoïdes. Evaluons la chaleur mise en jeu par la transformation du sucre en ces divers principes.

La chaleur de combustion de 1 gramme de sucre de raisin pouvant être évaluee, d'après les observations, à un chiffre voisin de 3960 calories, le calcul montre que :

1 gramme de sucre de raisin, en se changeant en cellulose, dégagerait environ 706 calories, d'après la chaleur de combustion de la cellulose, mesurée par M. Scheurer-Kestner.

1 gramme de sucre de raisin, en se changeant en matière grasse, avec production d'eau et d'acide carbonique [1], dégagerait environ 823 calories, d'après la chaleur de combustion de l'huile d'olive, mesurée par Dulong : on aurait un chiffre notablement plus fort, d'après la chaleur de combustion de la graisse de bœuf, mesurée par M. Frankland. La formation des matières grasses ne porte d'ailleurs que sur une dose fort petite de matière.

1 gramme de sucre de raisin, en se changeant en albumine, eau et acide carbonique [2], avec le concours d'un sel d'ammoniaque à acide organique,

1. 1 gramme de sucre de raisin renferme les éléments nécessaires pour former 0,318 d'oléine, 0,420 d'acide carbonique et 0,262 d'eau : ces nombres étant complètement déterminés par la seule connaissance de la composition centésimale des corps, dans l'hypothèse d'une transformation qui ne donne naissance à aucun autre produit.

2. 1 gramme de sucre de raisin exigerait 0,133 d'ammoniaque et donnerait naissance à 0,706 d'albumine, 0,073 d'acide carbonique et 0,354 d'eau ; ces nombres étant complètement déterminés par les mêmes conditions que les précédents.

Le calcul thermique établi sur ces données indique un dégagement de 964 calories ; il convient d'en retrancher 93, pour tenir compte de l'état initial de l'ammoniaque, qui n'est pas libre, mais unie avec un acide organique. Dans ces calculs, le sucre est supposé solide et l'acide carbonique gazeux ; mais l'état de dissolution de ces deux corps accroîtrait encore la chaleur dégagée, soit de 65 calories dans le cas des corps gras, et de 19 calories dans le cas des albuminoïdes. (*Notes de Berthelot.*)

dégagerait environ 871 calories, d'après la chaleur de combustion de l'albumine, mesurée par M. Frankland.

On voit que toutes ces quantités de chaleur sont positives et considérables. Sans nous arrêter plus qu'il ne convient à leurs valeurs absolues, à cause de l'état d'imperfection de nos connaissances sur les équations chimiques véritables qui président aux transformations effectuées pendant la nutrition, peut-être sera-t-il permis de penser que les chiffres précédents indiquent au moins le sens des réactions réelles. Il n'est donc pas probable que le développement vital de la levûre aux dépens du sucre exige l'intervention d'une énergie étrangère, empruntée à la métamorphose simultanée d'une autre portion du sucre en alcool et acide carbonique.

Ainsi nous n'avons affaire qu'à de pures imaginations dans toute cette physiologie nouvelle, que M. Pasteur déclare aujourd'hui avoir inaugurée (*Comptes rendus*, t. LXXXVIII, p. 135, au milieu; 27 janvier 1879), après avoir assuré avec plus de vérité, il y a quelques semaines (*Comptes rendus*, t. LXXXVII, p. 1055, au bas; 30 décembre 1878), qu'il ne la connaissait nullement. Quoi qu'il en soit, la discussion actuelle me semble épuisée, car toutes les données scientifiques du problème ont été abordées. Puisse-t-elle avoir eu pour résultat utile de poser nettement les questions, ce qui constitue le commencement de leur solution !

QUATRIÈME RÉPONSE A M. BERTHELOT (1)

(10 février 1879)

L'Académie n'a pas oublié l'origine de cette discussion. Soudainement surpris, au mois de juillet dernier, par une publication posthume de Claude Bernard, j'ai montré, dans des expériences nouvelles dont les résultats n'ont pas été contestés, que cette publication avait été non seulement inopportune, mais en quelque chose nuisible à la mémoire de notre illustre confrère. Contredit par des faits d'expérience, et les faits seuls comptent dans la discussion scientifique, M. Berthelot a tenté de reprendre celle-ci, en la faisant porter cette fois sur des inductions propres à mes travaux. Enfin, M. Berthelot s'est présenté, dans ce nouveau débat, armé seulement d'hypothèses gratuites. Comment oser cependant tenter de renverser des inductions autrement que par des faits démontrés ?

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 10 février 1879, LXXXVIII, p. 255-261. (*Note de l'Édition.*)

Au début de sa critique, il dit « que je l'ai sommé de produire son opinion sur les questions » en litige. M. Berthelot se méprend sur mes paroles. Je ne lui ai jamais demandé *des opinions*, mais *des faits sérieux*. Suivent six affirmations magistrales que je vais parcourir. Mais je présenterai d'abord quelques observations préalables.

Le 25 février 1861, j'annonçais à l'Académie la découverte d'êtres anaérobies, c'est-à-dire pouvant vivre sans air et possédant le caractère ferment (1).

Le 17 juin suivant, dans une nouvelle communication, je démontrais que la levûre de bière a deux manières de vivre, qu'elle est tout à la fois aérobie et anaérobie, suivant les conditions de milieu dans lesquelles on la cultive (2).

Ultérieurement, j'ai fait connaître l'existence d'autres êtres microscopiques ayant la propriété de se nourrir et de s'engendrer en dehors de toute participation du gaz oxygène libre, ces êtres se montrant toujours, dans ces conditions, des ferments plus ou moins énergiques.

Avant les découvertes que je rappelle, Berzelius, Mitscherlich, Liebig, Gerhardt, M. Fremy, M. Berthelot et beaucoup d'autres observateurs plaçaient la cause probable des décompositions par fermentation dans des actions de présence, *catalytiques*, pour employer le mot de Berzelius, ou dans un mouvement communiqué par des matières mortes en voie d'altération. En un mot, le mystère était si grand, qu'on avait recours, pour l'expliquer, à de véritables forces occultes. Lorsque je fus en possession des faits inattendus que je rappelais tout à l'heure, savoir que les ferments des fermentations proprement dites sont, non des matières mortes, mais des êtres vivants, qu'en outre ces êtres avaient un mode de vie inconnu jusqu'alors, puisqu'ils pouvaient vivre sans air, je rejetai ces forces occultes, et des faits dont je parle je tirai les déductions suivantes :

« Voilà, disais-je le 17 juin 1861 (t. LII de nos *Comptes rendus*), voilà les faits dans toute leur simplicité. Maintenant quelle est leur conséquence prochaine? Faut-il admettre que la levûre, si avide d'oxygène qu'elle l'enlève à l'air atmosphérique avec une grande activité, n'en a plus besoin et s'en passe lorsqu'on lui refuse ce gaz à l'état libre, tandis qu'on le lui présente à profusion sous forme de combinaison dans la matière fermentescible? Là, est tout le mystère de la fermentation. Car si l'on répond à la question que je viens de poser en disant : Puisque la levûre de bière assimile le gaz oxygène avec énergie lorsqu'il est libre, cela prouve qu'elle

1. *Voir* p. 136-138 du présent volume : Animalcules infusoires vivant sans gaz oxygène libre et déterminant des fermentations.

2. *Voir* p. 142-147 du présent volume : Expériences et vues nouvelles sur la nature des fermentations. (*Notes de l'Édition.*)

en a besoin pour vivre, et elle doit conséquemment en prendre à la matière fermentescible si on lui refuse ce gaz à l'état de liberté ; aussitôt la plante nous apparaît comme un agent de décomposition du sucre....

« En résumé, à côté de tous les êtres connus jusqu'à ce jour, et qui, sans exception (au moins on le croit), ne peuvent respirer et se nourrir qu'en assimilant du gaz oxygène libre, il y aurait une classe d'êtres dont la respiration serait assez active pour qu'ils puissent vivre hors de l'influence de l'air en s'emparant de l'oxygène de certaines combinaisons, d'où résulterait pour celles-ci une décomposition lente et progressive. Cette deuxième classe d'êtres organisés serait constituée par les ferments, de tout point semblables aux êtres de la première classe, vivant comme eux, assimilant à leur manière le carbone, l'azote et les phosphates, et comme eux ayant besoin d'oxygène, mais différant d'eux en ce qu'ils pourraient, à défaut de gaz oxygène libre, respirer avec du gaz oxygène enlevé à des combinaisons peu stables. Tels sont les faits et la théorie qui paraît en être l'expression naturelle, que j'ai l'honneur de soumettre au jugement de l'Académie, avec l'espoir d'y joindre bientôt de nouvelles preuves expérimentales. »

Telles ont été mes inductions, présentées, j'en fais juge l'Académie, avec la réserve, avec la circonspection que peut réclamer une logique sévère. Aurais-je, depuis dix-huit ans que le passage que je viens de citer est écrit, forcé la note dans l'expression de ces inductions? Bien au contraire : trouvant que ces mots, *respiration avec l'oxygène de combinaison*, étaient trop particuliers, je me suis borné à dire que la levûre prenait son oxygène à des combinaisons oxygénées, ce qui est le fait lui-même, et que son affinité pour ce gaz devait constituer le principe premier de son action décomposante. Voilà pourtant les inductions auxquelles se refuse obstinément M. Berthelot.

Première affirmation de M. Berthelot :

« Aucun fait positif, dit-il, n'a été produit pour démontrer que le sucre cède à la levûre de l'oxygène, de préférence aux autres éléments. »

Ce qui signifie que, M. Pasteur ayant fait une induction, je lui demande gratuitement une preuve, afin de paraître plus profond. Ce premier alinéa des affirmations de M. Berthelot, je le lui renvoie en ces termes :

Aucun fait positif n'a été produit pour démontrer que le sucre NE *cède* PAS *à la levûre de l'oxygène, de préférence aux autres éléments.*

Deuxième affirmation :

« Aucun fait positif n'a été produit pour démontrer que la levûre se développe en prenant au sucre de l'oxygène, de préférence aux autres éléments. »

Ce sont, pour ainsi dire, rigoureusement les mêmes expressions que celles de la première affirmation. Qu'importe, cela fait nombre. Il y a, toutefois, une addition à cette seconde affirmation : c'est que « la levûre paraît prendre de l'hydrogène au sucre, de préférence à l'oxygène » ; or, c'est là une assertion tout à fait gratuite.

Troisième affirmation :

« Aucun fait positif ne démontre que la métamorphose du sucre soit corrélative d'un mode exceptionnel de nutrition des êtres microscopiques, ce mode étant tel qu'ils enlèvent au sucre de l'oxygène combiné à défaut d'oxygène libre. »

Si dans la pensée de M. Berthelot cette affirmation, qui a peut-être deux sens, n'est pas identique aux deux premières, c'est-à-dire introduite encore pour faire nombre, je déclare qu'elle est erronée, parce que tout l'oxygène provient réellement de l'oxygène combiné si les conditions sont convenables.

Les quatrième, cinquième et sixième assertions de M. Berthelot sont contraires aux observations les plus simples et les mieux établies; je le démontrerai s'il m'y oblige, quoique cela résulte déjà très clairement de mes réponses précédentes, ou bien je démontrerai qu'il confond, pour le besoin de sa cause, les mots *coïncidence de fait* et *coïncidence obligée*, *corrélation de fait* et *corrélation nécessaire*.

En m'arrêtant aujourd'hui à ces preuves, je craindrais d'allonger trop cette communication, d'autant plus que j'ai grande hâte d'arriver au corps principal de la nouvelle réplique de mon savant confrère, à sa dissertation thermochimique, qui n'occupe pas moins de deux pages et demie des *Comptes rendus*. M. Berthelot se trouve ici sur un terrain qu'il déblaye depuis nombre d'années par des travaux persévérants et fort distingués. C'est encore d'une induction qu'il s'agit. M. Pasteur, dit-il, suppose que :

« L'être anaérobie fait la chaleur dont il a besoin en décomposant une matière fermentescible susceptible de dégager de la chaleur par sa décomposition. »

Cette induction est, suivant moi, non seulement légitime, mais la traduction même des faits. M. Berthelot, néanmoins, la repousse, et, fidèle à cette méthode que je lui reprochais dans la dernière séance, qui le porte à mettre à la place d'inductions naturelles les hypothèses les plus éloignées des faits, M. Berthelot cherche à établir que le développement des êtres anaérobies se suffit à lui-même sans le concours d'une fermentation simultanée, sans le concours des hydratations et des dédoublements, et il conclut en ces termes :

« Il n'est donc pas probable que le développement vital de la levûre aux dépens du sucre exige l'intervention d'une énergie étrangère, empruntée à la métamorphose simultanée d'une autre portion du sucre en alcool et acide carbonique. »

Afin d'établir cette conclusion, M. Berthelot fait « l'évaluation de la chaleur mise en jeu dans la transformation du sucre dans les divers principes de la levûre : la cellulose, les matières grasses et les substances albuminoïdes ». A cet effet, et à l'aide de déterminations numériques qu'il emprunte soit à M. Frankland, soit à M. Scheurer-Kestner, soit à Dulong et à lui-même, il cite les chaleurs de transformation :

De 1 gramme de sucre de raisin en cellulose;

De 1 gramme de sucre de raisin en matière grasse;

De 1 gramme de sucre de raisin en albumine, avec le concours d'un sel d'ammoniaque à acide organique.

Il trouve que la quantité d'énergie chimique nécessaire pour former 1 gramme de levûre est déjà contenue dans 1 gramme de sucre additionné d'une petite quantité d'un sel organique ammoniacal. J'aurais donc, moi, le plus grand tort de m'adresser à la chaleur de décomposition du sucre pour donner à l'être anaérobie la chaleur dont il a besoin.

Oui, répondrai-je à mon savant confrère, en acceptant l'exactitude de vos nombres, on peut admettre que 1 gramme de sucre, additionné d'une petite quantité d'un sel ammoniacal, contient déjà l'énergie nécessaire pour former 1 gramme de levûre. Oui, vous êtes autorisé à dire que 1 gramme de sucre environ se suffit à lui-même pour la formation de 1 gramme de levûre. Mais vous oubliez la vie. Lorsque l'on considère un être vivant quelconque, une minime partie de l'énergie empruntée aux aliments est employée à la formation du *cadavre*; le reste de cette énergie, *reste que vous oubliez*, a été dépensé pendant la vie. Il n'y a aucune relation entre le poids considérable des aliments exigés pour la vie d'un animal pendant son existence et le poids de son corps. Vous considérez seulement l'épargne d'énergie chimique accumulée dans l'organisme; vous considérez, si l'on peut ainsi dire, l'énergie utilisée pour construire le corps et vous laissez de côté l'énergie dépensée pendant la vie, qui n'a fait que traverser le corps, qui se retrouve tout entière et sous forme de chaleur dégagée et sous forme d'énergie chimique contenue dans les produits excrétés. Vous dites, par exemple : avec tant de minerai et tant de houille, je puis construire une locomotive, mais vous oubliez que, si vous voulez faire fonctionner la locomotive, la faire marcher, ou seulement la tenir sous

pression, il faudra lui fournir encore bien d'autres quantités de houille. De même, et en conséquence, pour entretenir la vie de la levûre, il faudra bien d'autres quantités d'aliments que celle que vous considérez. Celle que vous considérez ne correspond qu'à la formation de la levûre.

Il y a un autre passage de la Note de M. Berthelot dans lequel mon savant confrère oublie encore la vie : c'est celui où, parlant de la levûre qui ne peut prendre de l'oxygène au sucre, il dit que « *nous ne connaissons aucun principe immédiat qui puisse enlever à froid l'oxygène du sucre* ». Est-il donc permis de comparer une cellule et l'action possible de son protoplasma vivant à un principe immédiat, à un produit chimique ?

Après avoir établi les raisonnements, suivant moi très défectueux, dont je viens de parler, M. Berthelot continue dans ces termes :

« Ainsi, nous n'avons affaire qu'à de pures imaginations dans toute cette physiologie nouvelle, que M. Pasteur déclare aujourd'hui avoir inaugurée (*Comptes rendus*, t. LXXXVIII, p. 135, au milieu; 27 janvier 1879), après avoir assuré avec plus de vérité, il y a quelques semaines (*Comptes rendus*, t. LXXXVII, p. 1055, au bas; 30 décembre 1878), qu'il ne la connaissait nullement. »

Je cherche, mais en ayant peur de la deviner, la signification de ce soin puéril, puéril parce que le lecteur est parfaitement informé, je cherche, dis-je, la signification de ce soin avec lequel M. Berthelot dénonce à l'Académie que j'ai déclaré *à telle page*, *à tel tome*, *à telle ligne*, *et tel jour* avoir inauguré une physiologie nouvelle, lorsque *page*, *tome*, *ligne et jour* font partie de la discussion actuelle. En signalant des faits qui ont « inauguré une physiologie nouvelle », aurais-je donc fait à l'amour-propre de notre confrère une blessure vive ? Pourquoi chez lui ce vain désir de me trouver en contradiction avec moi-même, parce que le 30 décembre dernier, ayant écrit que je ne connaissais pas la physiologie des êtres anaérobies, j'ai déclaré le 27 janvier suivant que l'existence de ces êtres inaugurait une physiologie nouvelle ? A qui M. Berthelot espère-t-il donner le change sur le sens de mes paroles dans les deux séances qu'il rappelle ? Qui mieux que lui doit savoir que le 30 décembre, lorsque j'ai parlé de la physiologie des êtres anaérobies comme l'ignorant entièrement, il s'agissait de cette physiologie dans ce qu'elle a de plus intime, c'est-à-dire, et je le mentionnais même tout aussitôt, de la connaissance de l'équation de la nutrition, inconnue même chez les êtres aérobies de grande taille ? Qui mieux que lui doit savoir que le 27 janvier, au contraire,

quand j'ai parlé de physiologie nouvelle, je venais d'énumérer les faits, les grands faits qui en sont la base essentielle ?

Et maintenant, pour passer à un autre point du débat, je me hâte de reconnaître avec empressement qu'il y a un passage de la Note de mon savant confrère sur lequel je suis tout à fait de son avis : c'est que la discussion actuelle est épuisée. Bien plus, j'ose dire qu'elle a eu ce caractère avant même de naître. Je n'ai pas encore compris qu'après la réfutation que j'avais faite de l'écrit posthume de Bernard, écrit qui m'avait si hardiment provoqué, notre confrère, quelque peu meurtri par cette réfutation, pût aborder une lutte nouvelle sans autre arme que l'hypothèse, arme proscrite dans le sein de l'Académie des sciences depuis qu'elle existe. Comment mon savant ami n'a-t-il pas senti que les inductions qui remplissent les travaux de chacun de nous ne peuvent servir d'objet de discussion, à moins qu'on n'apporte des faits nouveaux qui les renversent ? Comment M. Berthelot n'a-t-il pas senti que le temps est le seul juge en cette matière et le juge souverain ? Comment n'a-t-il pas reconnu que du verdict du temps je n'ai pas à me plaindre ? Ne voit-il pas grandir chaque jour la fécondité des inductions de mes études antérieures, et, dans le sujet même qui nous occupe, n'a-t-il pas entendu dans la dernière séance une lecture remarquable de notre jeune confrère M. Van Tieghem, qui apporte à mes vues sur les fermentations en général et sur les êtres anaérobies des confirmations précieuses, en même temps qu'une condamnation nouvelle de la doctrine des générations dites spontanées (1) ? Enfin, comment ne s'est-il pas souvenu qu'à maintes reprises déjà l'Académie a vu les plus illustres de ses membres juger favorablement les déductions de mes travaux ? Sans affecter une vaine modestie, je tiens à rappeler une de ces circonstances. Le Rapport (2) auquel je fais allusion mériterait d'être reproduit intégralement ; je viens de le relire avec la plus profonde émotion. Toutefois, je me bornerai à en citer les dernières lignes :

« C'est en examinant d'abord les recherches de M. Pasteur dans l'ordre chronologique, et en en considérant ensuite l'ensemble, qu'on peut apprécier LA RIGUEUR DES JUGEMENTS DU SAVANT DANS LES CONCLUSIONS QU'IL EN DÉDUIT, et la perspicacité d'un esprit pénétrant qui, fort des vérités qu'il a trouvées, se porte en avant pour en établir de nouvelles. »

1. VAN TIEGHEM (Ph.). Sur la fermentation de la cellulose. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXVIII, 1879, p. 205-210.

2. *Voir* p. 631-634 du présent volume, Document IV : Rapport sur le prix Jecker, année 1861. (*Notes de l'Édition.*)

Quelle est la date du Rapport dont il s'agit? 25 décembre 1861, c'est-à-dire de l'année même où j'avais reconnu l'existence d'êtres anaérobies dont ce Rapport fait mention, ainsi que de beaucoup d'autres découvertes qui me sont personnelles et que le temps a respectées. Et quel est celui de nos confrères qui s'exprimait ainsi en 1861? Est-ce un homme qui ne mesure point ses paroles? Est-ce un homme inhabile dans la propriété des termes? Est-ce enfin un homme habitué à l'indulgence dans l'éloge? Sur ces trois points, l'Académie tout entière répondra non, lorsque j'ajouterai que ce confrère est l'illustre doyen de l'Institut et de cette Académie, M. Chevreul.



DOCUMENTS

I. — LETTRE MANUSCRITE ADRESSÉE PAR PASTEUR A CHACUN DES MEMBRES DE LA COMMISSION DU PRIX DE PHYSIOLOGIE EXPÉRIMENTALE [1]

Monsieur,

J'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie dans sa séance du 29 mars 1858 quelques résultats d'un travail sur la fermentation de l'acide tartrique et de ses isomères [2]. Ce travail a été renvoyé, sur ma demande, à l'examen de la commission chargée de décerner le prix de physiologie expérimentale. Je crois devoir, Monsieur, éclairer la commission sur le but que j'avais plus particulièrement en vue quand j'ai soumis ces études à son appréciation, et mieux indiquer que je n'ai pu le faire alors, ce qui, dans mes recherches, me paraît être un progrès pour la physiologie.

Vous vous rappelez, Monsieur, la constitution singulière de l'acide paratartrique ou racémique. J'ai établi en 1849 [3] que cet acide est formé par la combinaison d'une molécule d'acide tartrique droit (qui est l'acide tartrique ordinaire) et d'une molécule d'acide tartrique gauche, qui ne diffère du droit que par l'impossibilité de superposer leurs formes d'ailleurs identiques, et par le pouvoir rotatoire, s'exerçant à droite dans le premier, à gauche dans le second, exactement de la même quantité en valeur absolue. L'un de ces acides est l'image de l'autre vu dans une glace.

Vous savez de plus, Monsieur, qu'en mettant à part un certain ordre de réactions sur lesquelles je vais revenir, il existe entre les propriétés chimiques de ces deux acides une identité si parfaite qu'il serait matériellement impossible de leur trouver des différences autres que celles offertes par leurs actions optiques égales et de sens opposés, et leurs formes cristal-

1. Les membres de la Commission étaient : Flourens, Milne Edwards, Rayer, Serres et Claude Bernard.

Cette lettre est restée inédite.

Pasteur obtint le prix pour l'année 1859. (*Voir* Document II.)

2. Pasteur. Mémoire sur la fermentation de l'acide tartrique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 29 mars 1858, XLVI, p. 615-618, et p. 25-28 du présent volume.

3. Pasteur. Recherches sur les propriétés spécifiques des deux acides qui composent l'acide racémique. *Ibid.*, séance du 17 septembre 1849, XXIX, p. 297-300, et p. 83-85 du tome Ier (*Notes de l'Édition.*)

lines égales aussi mais inverses, semblables dans tous leurs détails de configuration géométrique, mais non superposables.

Premier exemple de deux corps qui échappent à tous les agents des laboratoires et qui cependant présentent autre chose que des différences physiques puisqu'ils se combinent entre eux, directement, avec chaleur, en proportion définie, en constituant un composé où leurs propriétés premières ont disparu pour faire place à des propriétés nouvelles.

En bornant à ces seuls développements la découverte de la constitution moléculaire de l'acide racémique, on peut en déduire quelques conséquences que je vais indiquer tout d'abord, parce qu'elles serviront de base à mes appréciations ultérieures.

Par ces résultats la Physique touche du doigt, si j'ose ainsi parler, la cause de la polarisation rotatoire, en quelque façon devinée par le génie pénétrant de Fresnel dans ce beau passage de son Mémoire sur la double réfraction [1] : « Des corps parfaitement cristallisés tels que le cristal de roche, présentent des phénomènes optiques qu'on ne peut concilier avec le parallélisme complet des lignes moléculaires, et qui sembleraient indiquer une déviation progressive et régulière de ces lignes dans le passage d'une tranche du milieu à la tranche suivante. »

Les faits que je viens d'énumérer sur les deux acides tartriques droit et gauche mettent hors de doute que dans les molécules chimiques elles-mêmes de ces deux acides il y a un genre de dissymétrie dont l'énoncé se trouve compris dans l'expression mathématique par laquelle Fresnel essayait de se rendre compte de la structure cristalline du quartz.

L'hémiédrie qui n'avait été dans les études minéralogiques qu'une curiosité géométrique [2] se trouve mise en rapport évident et nécessaire avec la structure moléculaire interne, et se présente comme une des manifestations visibles d'une dissymétrie d'arrangement propre aux dernières particules des corps.

Quant aux études chimiques elles se trouvent liées de deux manières qu'il importe de distinguer avec la découverte de la constitution de l'acide racémique. Jamais les conditions mécaniques de la structure intime des molécules de deux corps différents ne s'étaient montrées plus saisissables dans leur nature et leur influence sur les propriétés physiques ou chimiques de la matière. Jamais un cas d'isomérie entre deux substances n'avait reçu une explication plus intelligible.

Mais d'autre part, à voir l'identité absolue des propriétés chimiques de deux acides ayant une action diamétralement opposée sur la lumière polarisée, on devait penser que l'affinité, cette force à laquelle nous rapportons les phénomènes chimiques, n'avait rien à démêler avec la polarisation rotatoire et la cause secrète de ce phénomène, dont la valeur se bornerait, comme on l'avait cru jusqu'alors, à l'utilité d'un caractère physique. On pouvait se dire : Les produits organiques naturels, les plus essentiels à la vie, la cellulose, l'albumine, la fibrine, la gélatine, le sucre,

1. Fresnel. Extrait d'un mémoire sur la double réfraction. (Lu à l'Académie des sciences le 26 novembre 1821.) *Annales de chimie et de physique*, XXVIII, 1825, p. 263-279.

2. Pasteur a écrit en marge du brouillon de cette lettre : « Rectifier ce que ce passage a de trop absolu. » (*Notes de l'Édition.*)

la gomme, la fécule...., ont beau être dissymétriquement constitués, on ne prévoit en rien que cette propriété puisse être mêlée dans les phénomènes de la vie auxquels ces produits prennent part, puisqu'en changeant même de sens cette dissymétrie n'apporte aucune modification dans l'ensemble des caractères chimiques.

Ces idées reçurent une apparente confirmation dans mon travail sur les acides aspartique et malique inactifs, où je reconnus que l'on pouvait enlever à un corps son action sur la lumière polarisée et sa dissymétrie moléculaire sans qu'il en résultât des modifications bien sensibles dans ses propriétés physiques ou chimiques.

Néanmoins il était facile de comprendre que jusque-là je n'avais mis en comparaison les deux acides tartriques que dans des cas limites en quelque sorte. C'est alors que poursuivant par des études nouvelles la comparaison des propriétés chimiques de ces deux corps je vis la dissymétrie moléculaire propre aux matières organiques naturelles agir comme modificateur énergique des affinités chimiques. Voici dans quelles circonstances : L'identité chimique des deux acides tartriques n'est réellement absolue qu'à une condition qui m'avait échappé pendant plusieurs années, toute naturelle qu'elle se montre aujourd'hui : Il faut que les deux acides inverses soient soumis à des actions non dissymétriques, par exemple à celles de produits inactifs sur la lumière polarisée. Vient-on à les placer en présence de corps ayant une dissymétrie moléculaire analogue à celle qu'ils manifestent eux-mêmes, toute identité cesse d'avoir lieu. Les combinaisons correspondantes n'ont plus ni la même solubilité, ni la même composition, ni la même forme cristalline ; elles ne se comportent plus de la même manière sous l'influence d'une température élevée. Il arrive même quelquefois que la combinaison est possible avec le corps droit, impossible avec le corps gauche.

C'est en partant de ces résultats, dont la cause mécanique est facile à saisir, que j'ai cherché à dédoubler l'acide racémique et à isoler ses deux composants droit et gauche par une méthode purement chimique, et non plus manuelle et mécanique, comme je l'avais fait au début de mes recherches. Que l'on forme le racémate de cinchonicine (nouvel alcali isomère de la cinchonine et d'une facile préparation), que l'on fasse cristalliser ce sel, et l'on verra que les premières cristallisations seront formées de tartrate gauche de cinchonicine et les dernières de tartrate droit de cette même base.

Voilà donc la propriété rotatoire ou mieux la dissymétrie moléculaire qui la provoque entrant de plein pied dans les réactions chimiques comme un modificateur des affinités, et l'on peut pressentir, dès ce moment, que la dissymétrie moléculaire des substances organiques naturelles aura sa part d'influence dans les phénomènes physiques et chimiques de la vie, toutes les fois que des actions dissymétriques connues ou inconnues seront mises en jeu.

Je sens néanmoins qu'il faut une telle prudence dans l'application des résultats des laboratoires aux faits de l'ordre vital que je me serais gardé de divulguer la pensée que par ces observations seules j'avais utilement servi les études physiologiques.

Mes recherches ne laisseront pas cependant que d'être dominées par l'idée que la constitution des corps, en tant qu'on l'envisage au point de vue de sa dissymétrie ou de sa non-dissymétrie moléculaire, toutes choses égales d'ailleurs, doit avoir une part importante dans la nature des lois les plus intimes de l'organisation des êtres vivants.

Or, chemin faisant, et par l'étude des fermentations je rencontrai un fait où je crois reconnaître la preuve certaine que la dissymétrie moléculaire, jusqu'à ce jour l'apanage exclusif des produits élaborés sous l'influence de la vie, apparaît comme modificateur de phénomènes physiques et chimiques propres à l'organisme.

Voici le résultat nouveau auquel je fais allusion.

Le racémate d'ammoniaque étant mis en fermentation suivant les indications que j'ai données pour le tartrate droit, on observe dans les deux cas les mêmes phénomènes généraux. Il se dépose la même levûre. Mais si l'on suit la marche de la fermentation du racémate à l'aide de l'appareil de polarisation on voit que les choses se passent tout autrement qu'avec le tartrate droit. Après quelques jours de fermentation le liquide primitivement inactif possède un pouvoir rotatoire à gauche sensible qui augmente progressivement et atteint peu à peu un maximum. La fermentation est alors suspendue. Il n'y a plus trace d'acide droit dans la liqueur qui évaporée et mêlée à son volume d'alcool donne immédiatement une abondante cristallisation de tartrate gauche d'ammoniaque.

Remarquons d'abord dans ce phénomène deux choses distinctes : comme dans toute fermentation proprement dite, il y a une substance qui se transforme chimiquement, et corrélativement il y a développement d'un corps possédant les allures d'un végétal mycodermique. D'autre part, et c'est là ce qu'il importe de noter en ce moment, la levûre qui fait fermenter le sel droit respecte le sel gauche, malgré l'identité absolue des propriétés physiques et chimiques des deux tartrates droit et gauche d'ammoniaque, toutes les fois qu'on ne les soumet pas à des actions dissymétriques.

Nous voyons clairement dans le fait qui précède la dissymétrie moléculaire propre aux matières organiques intervenir dans un phénomène de fermentation, que je regarde comme étant de l'ordre physiologique, et elle y intervient à titre de modificateur des affinités chimiques. Il n'est pas douteux le moins du monde que ce soit le genre de dissymétrie propre à l'arrangement moléculaire de l'acide tartrique gauche qui soit la cause unique, exclusive, de la différence qu'il présente avec l'acide droit sous le rapport de sa fermentation. C'est pourquoi j'ai pensé que j'avais introduit dans les considérations et les études physiologiques l'idée de l'influence de la dissymétrie moléculaire des produits organiques naturels.

Ai-je fait une découverte d'une application immédiate et sensible à tel ou tel acte physiologique? La réponse à cette question dépend beaucoup de la manière dont on envisage les phénomènes de la fermentation. Mais dans tous les cas j'ai jugé que c'était servir la physiologie que de lui indiquer l'existence assurée et la place d'un horizon nouveau où elle doit porter ses regards.

J'aurais tort d'insister davantage. Mieux que moi-même, vous saurez apprécier, Monsieur, jusqu'à quel point la physiologie expérimentale doit

méditer les faits et les idées que j'ai pris la liberté de vous exposer. Malgré l'honneur toujours fort enviable de remporter un des prix que décerne l'Académie des sciences, j'ai été guidé surtout par le désir de faire passer, chez quelques hommes spéciaux et mieux préparés que je ne puis l'être aux découvertes de la physiologie expérimentale, un peu de la foi qui dirige mes efforts. Si j'atteins ce but et que ma foi s'éclaire aux sources de la Vérité je serai assez récompensé.

Veuillez agréer, Monsieur, les sentiments respectueux avec lesquels j'ai l'honneur d'être votre très humble et très dévoué serviteur.

Signé : L. Pasteur.

12 août 1858

II. — RAPPORT SUR LE CONCOURS POUR LE PRIX DE PHYSIOLOGIE EXPÉRIMENTALE, FONDATION MONTYON, ANNÉE 1859 [1]

(Commissaires : MM. Flourens, Milne Edwards, Rayer, Serres, Claude Bernard rapporteur.)

Quand on étudie la physiologie, il est impossible de ne pas être frappé de l'immense variété des phénomènes de la vie. Chaque être vivant est animé originairement d'une faculté spéciale qui développe et maintient ses organes, les multiplie, les varie et en modifie les propriétés à mesure que le système organique se complique ou s'élève en se perfectionnant dans ses fonctions. Mais, pendant toute la durée de sa vie individuelle, l'être organisé se trouve en même temps soumis aux lois générales du milieu qui l'entoure; de telle sorte que, dans toutes ses manifestations vitales, il se passe nécessairement des phénomènes d'ordre mécanique ou d'ordre physico-chimique. Dans un animal supérieur on voit, par exemple, les fibres nerveuses et musculaires constituer les éléments actifs de toutes les formes de mouvements et de sensations. On voit le sang et les divers liquides animaux être le théâtre de métamorphoses et de rénovations organiques incessantes. Mais ces premières données seraient tout à fait insuffisantes si le physiologiste ne cherchait pas ensuite à comprendre, à l'aide de la mécanique, les phénomènes de la locomotion, à l'aide de la physique les divers modes d'action des organes des sens, et à l'aide de la chimie les procédés des mutations de matières, qui sont si étroitement liés avec les principaux actes de la vie.

D'après cela, on peut concevoir la multiplicité des sources des connaissances que le physiologiste doit acquérir s'il veut arriver à la connaissance de toutes les conditions d'un phénomène physiologique : 1° l'anatomie, qui apprend la forme et la texture des appareils organiques; 2° la vivisection, qui étudie sur le vivant le jeu des organes et cherche à en déterminer les usages; 3° enfin, l'analyse expérimentale, qui isole chaque partie du phénomène pour la ramener à l'explication qui lui convient suivant sa nature mécanique, physique ou chimique.

C'est pour avoir envisagé le problème physiologique dans toute son étendue, que la Commission du prix de physiologie expérimentale peut attirer à elle des recherches d'une grande variété. Elle comprend, dans son programme de récompenses, non seulement les travaux d'anatomie physio-

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 30 janvier 1860, L, p. 220-224.

logique ou de vivisection, mais encore les études qui ont pour objet les explications physico-chimiques des phénomènes de la vie, soit dans les animaux, soit dans les végétaux.

Aujourd'hui la Commission saisit avec empressement l'occasion qui lui est offerte de couronner un travail de ce dernier genre : ce travail est relatif à certaines actions chimiques des êtres organisés, que l'on désigne sous le nom générique de *fermentations*.

Sans entrer dans la définition générale du mot *fermentation*, ce qui offrirait ici de sérieuses difficultés, nous rappellerons seulement qu'on a reconnu depuis longtemps que, dans l'organisation animale ou végétale, il peut se manifester des substances chimiques nouvelles qui sont produites par l'action sur d'autres matières de certains agents spéciaux, auxquels on donne le nom de *ferments*. Or, quelle que soit l'opinion que l'on ait sur la question de savoir si le ferment est une substance organisée ou seulement organique, il n'en reste pas moins ce fait que le ferment provient toujours d'un être qui vit ou qui a vécu. A ce titre, la fermentation est un phénomène qui rentre dans de véritables conditions physiologiques ; et, bien que l'étude des ferments ait fourni souvent à la science chimique des indications précieuses sur le dédoublement et la décomposition des corps, le physiologiste ne peut s'empêcher de reconnaître dans ces recherches l'étude de véritables agents chimiques qui jouent un rôle physiologique. En effet, les ferments n'ayant par eux-mêmes aucune énergie chimique prononcée, peuvent déterminer chez les êtres vivants, précisément dans les conditions compatibles avec la vie, des décompositions souvent fort énergiques, sans que les tissus organisés aient rien à souffrir de pareilles réactions.

Les expériences relatives aux fermentations, qui ont fixé l'attention de la Commission du prix de physiologie expérimentale, sont celles de M. Pasteur sur la fermentation alcoolique, la fermentation lactique et la fermentation de l'acide tartrique et de ses isomères. L'Académie a déjà connu les recherches de M. Pasteur sur ces fermentations, et elle a eu souvent l'occasion d'apprécier, d'une manière toute particulière, l'habileté et la rigueur expérimentale de ce savant distingué. Ces circonstances exceptionnelles, qui ont considérablement facilité le jugement de la Commission, lui permettront aussi d'être très brève dans son Rapport : elle doit se borner d'ailleurs à signaler, parmi les résultats importants obtenus par M. Pasteur, seulement ceux qui, se rapportant plus spécialement aux ferments, intéressent plus directement la physiologie, laissant ainsi aux chimistes le soin d'apprécier l'importance chimique des corps nouveaux qu'a découverts M. Pasteur et qui prennent naissance dans ces diverses fermentations.

La fermentation qu'on appelle alcoolique est la fermentation du sucre sous l'influence du ferment qui porte le nom de levûre de bière.

Nous n'avons pas à examiner comment, pendant la fermentation, les éléments du sucre se désassemblent et se groupent pour donner naissance à de nouveaux corps. Mais si nous recherchons ce que devient en même temps le ferment qui provoque ces phénomènes, nous verrons qu'il subit des modifications remarquables. A l'exemple de M. Cagniard de Latour, M. Pasteur considère la levûre de bière comme un corps organisé ; il regarde les modifications qu'elle subit pendant la fermentation alcoolique, comme étant de

nature essentiellement vitale, et il montre que les phénomènes chimiques de la fermentation sont liés à une régénération physiologique continuelle de la levûre; d'où il suit que, pendant la fermentation alcoolique, le sucre donne non seulement naissance à des substances chimiques qui se dégagent ou restent dissoutes dans la liqueur, mais en même temps il y a encore une portion du sucre qui se fixe sur la levûre à l'état de cellulose, et une autre partie à l'état de matière grasse, tandis que l'azote de l'ancienne levûre sert à régénérer la nouvelle [1]. M. Pasteur a institué à ce sujet une expérience très intéressante, qui ramène pour ainsi dire les conditions physiologiques aux rapports les plus simples qui peuvent rattacher les êtres vivants à la nature minérale. M. Pasteur montre en effet que les globules de levûre de bière se développent, se multiplient, et que le sucre fermente quand on sème des globules de levûre en quantité pour ainsi dire impondérable dans un milieu formé à la fois : 1° par une solution de sucre candi pur; 2° par un sel d'ammoniaque, par exemple le tartrate droit d'ammoniaque; 3° par des matières minérales phosphatées. On voit alors l'ammoniaque disparaître et se transformer en la matière albuminoïde complexe de la levûre, en même temps que les phosphates donnent aux globules nouveaux leurs principes minéraux. Quant au carbone, qui est un des éléments constituant de la levûre, il est évidemment fourni par le sucre, dont la présence est montrée indispensable dans les phénomènes de développement organique.

La fermentation lactique est une fermentation du sucre, dans laquelle le produit principal est l'acide lactique qui apparaît souvent dans les liquides organiques, même dans les animaux supérieurs. Avant M. Pasteur, le ferment lactique était considéré généralement comme une matière organique en voie d'altération, mais non comme une matière organisée. Or M. Pasteur a découvert et indiqué les caractères d'une levûre lactique spéciale, beaucoup plus petite que la levûre de bière. Pendant la fermentation lactique, cette levûre bourgeonne et se multiplie en se comportant, dans ses phénomènes de reproduction, d'une manière analogue à la levûre de bière.

Relativement à la fermentation de l'acide tartrique et de ses congénères, M. Pasteur est arrivé à des résultats fort inattendus et qui ont un grand intérêt non seulement pour les chimistes, mais encore pour les physiologistes. Cet habile expérimentateur a vu qu'en mettant dans des conditions de fermentation, avec des matières albuminoïdes et à une température convenable, du paratartrate d'ammoniaque, qui est formé par la réunion des tartrates droit et gauche d'ammoniaque et qui est inactif sur la lumière polarisée, il a vu, disons-nous, qu'il se manifeste bientôt des phénomènes de fermentation et que des produits chimiques nouveaux se forment aux dépens du paratartrate d'ammoniaque. Mais ce qui est singulier, c'est

1. Dans un de ses Mémoires *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XLVIII, 1859, p. 737-740 [p. 44-47 du présent volume], M. Pasteur a rappelé qu'en 1839 la composition de la levûre de bière était établie par M. Payen de la manière suivante :

Matières azotées et traces de soufre	62,73
Enveloppes de cellulose	29,37
Substances grasses	2,10
Matières minérales	5,80
	100,00.

que les éléments du tartrate droit seul se désassemblent, c'est-à-dire fermentent pour donner naissance aux produits de la fermentaiion, tandis que dans les mêmes conditions le tartrate gauche reste intact en dissolution dans la liqueur qui alors est devenue très active sur la lumière polarisée. Dans cette fermentation, M. Pasteur a reconnu également la formation d'une levûre spéciale à l'acide tartrique droit, laquelle se développe en présentant les caractères d'un végétal mycodermique.

Cet exemple prouve de la manière la plus évidente l'intervention de la dissymétrie moléculaire des matières organiques dans un phénomene de fermentation. Il n'est pas possible, en effet, d'interpréter autrement les différences si particulières que présentent sous ce rapport les acides tartriques droit et gauche, puisque tous deux ont exactement les mêmes propriétés physiques, la même composition chimique, et qu'ils ne diffèrent que par l'arrangement intestin qui donne à leurs parties constituantes un pouvoir rotatoire égal mais de sens inverse et correspond à la dissemblance qui se reproduit dans leur aptitude et dans leur inaptitude à être influencées par les ferments. Sans pouvoir pour aujourd'hui préciser en rien le rôle d'une semblable propriété dans les phénomènes de la vie, toujours est-il que le physiologiste ne devra pas perdre de vue ces notions nouvelles introduites par M. Pasteur dans les actions chimico-physiologiques, surtout quand on sait, comme l'a montré M. Biot, que la plupart des produits organiques naturels, animaux ou végétaux, sont moléculairement dissymétriques, et qu'il est possible par conséquent que l'avenir nous apprenne à ce sujet des interventions de forces moléculaires dont nous ne pouvons avoir actuellement aucune idée.

En résumé, M. Pasteur regarde les phénomènes chimiques des fermentations comme étant toujours corrélatifs de phénomènes vitaux d'organisation et de développement qui se passent en même temps dans les ferments organisés qui ont la propriété de les provoquer. La Commission a jugé qu'en poursuivant ainsi l'étude physiologique des ferments dans la direction que l'auteur a choisie, on arriverait à porter de nouvelles lumières sur une série de formations organiques qui se rattachent aux phénomènes de nutrition et d'*histogénie*. C'est donc en raison de cette tendance physiologique dans les recherches de M. Pasteur, que la Commission lui a accordé, à l'unanimité, le prix de physiologie expérimentale pour l'année 1859.

III. — LETTRE MANUSCRITE DE PASTEUR A POUCHET [1]

UNIVERSITÉ DE FRANCE. *École Normale supérieure.*

Paris, le 28 février 1859.

Monsieur,

J'ai reçu la lettre que vous avez bien voulu m'écrire à l'occasion de la note présentée en mon nom à l'Académie par M. Dumas, dans la séance du 14 février [2]. Vous me faites beaucoup d'honneur, Monsieur, en paraissant tenir à mon avis sur la question de la génération spontanée. Les expériences que j'ai faites à son sujet sont trop peu nombreuses et, je dois le dire, trop changeantes dans les résultats qu'elles m'ont offerts pour que j'ose avoir une opinion digne de vous être communiquée. Si, dans la note que je viens de rappeler, j'ai prononcé le mot de génération spontanée, c'est qu'en effet mon observation y avait un rapport assez direct et qu'elle ajoutait quelque chose à nos connaissances sur la question. Jusqu'à ce jour toutes les expériences de génération spontanée ont porté sur des infusions de matières végétales ou animales, ou sur des liquides renfermant des substances ayant appartenu antérieurement à l'organisme; quelles que soient les conditions préalables de température et d'ébullition qu'on leur fasse subir, ces matières ont une constitution et des propriétés acquises sous l'influence de la vie. Dans mon expérience au contraire, j'ai vu la vie végétale et animale et, afin de mieux préciser sur ce dernier point qui vous intéresse particulièrement, j'ai vu le *bacterium termo* et ses diverses variétés apparaître en quantité quelquefois considérable dans un milieu formé comme il suit :

Eau distillée	100 grammes.
Sucre candi pur	10 grammes.
Tartrate d'ammoniaque cristallisé pur	$0^{gr},2$
Cendres de levûre de bière (obtenues dans le moufle d'un fourneau de coupelle)	$0^{gr},1$
Carbonate de chaux (obtenu par précipitation) .	1 à 3 grammes.

1. Archives du Muséum d'histoire naturelle de Rouen, n° 1023 du catalogue de la Bibliothèque.

2. PASTEUR. Nouveaux faits pour servir à l'histoire de la levûre lactique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 14 février 1859, XLVIII, p. 337-338, et p. 34-36 du présent volume. (*Notes de l'Édition.*)

Il n'y a là que des matières cristallisables.

Après vingt-quatre heures, à la température de 30°, un tel milieu commence à se troubler et à dégager des bulles de gaz et la fermentation continue les jours suivants. En quelques semaines, le sucre et la craie ont disparu et le liquide est chargé de lactate et de butyrate de chaux. Au fond du vase il s'est formé un dépôt de plusieurs décigrammes de levûre lactique ou butyrique mélangée à des bacteriums morts dont on a pu facilement suivre le développement et les mouvements pendant la fermentation par des observations microscopiques. L'expérience réussit très bien, lors même que le vase est rempli de liquide ainsi que le tube abducteur propre à recueillir les gaz, c'est qu'il y a eu contact avec l'air commun pendant la préparation du milieu; mais lorsque la liqueur est prête, faites-la bouillir quelques minutes dans un ballon effilé communiquant par un caoutchouc à un petit tube de cuivre qui est entouré de charbons ardents, puis laissez refroidir et alors fermez par un trait de chalumeau la partie effilée, puis portez le ballon dans une étuve. Il pourra y demeurer des mois entiers à une température de 25 à 35° sans donner aucune apparence de fermentation, ni levûres, ni infusoires.

Veuillez, Monsieur, adopter la disposition que je vous indique; en moins d'un quart d'heure, vous pourrez mettre une expérience en train, vous acquerrez alors la conviction que, dans vos expériences récentes, vous avez à votre insu introduit de l'air commun et que les conséquences auxquelles vous êtes arrivé ne sont pas fondées sur des faits d'une exactitude irréprochable. Je pense donc, Monsieur, que vous avez tort, non de croire à la génération spontanée, car il est difficile dans une pareille question de n'avoir pas une idée préconçue, mais d'affirmer la génération spontanée. Dans les sciences expérimentales on a toujours tort de ne pas douter alors que les faits n'obligent pas à l'affirmation; mais, je me hâte de le dire, lorsque à la suite des expériences que je viens d'indiquer, vos adversaires prétendent qu'il y a dans l'air les germes des productions organisées des infusions, ils vont au delà des résultats de l'expérience, ils devraient dire simplement que dans l'air commun il y a quelque chose qui est une condition de la vie, c'est-à-dire employer un mot vague qui ne préjuge pas la question dans ce qu'elle a de plus délicat. Autant vaudrait dire, en effet, qu'il y a dans l'air commun de petits cristaux de sulfate de soude, des germes de sulfate de soude, passez-moi ces expressions, parce que cet air provoque la cristallisation d'une dissolution saturée de ce sel, propriété que n'a pas l'air chauffé.

A mon avis, Monsieur, la question est entière et toute vierge de preuves décisives. Qu'y a-t-il dans l'air qui provoque l'organisation? Sont-ce des germes? Est-ce un corps solide? Est-ce un gaz? Est-ce un fluide? Est-ce un principe tel que l'ozone? Tout cela est inconnu et invite à l'expérience. A la fin de votre lettre vous ajoutez pour démentir les conséquences de l'expérience de M. Claude Bernard : Croyez-le bien, Monsieur, ainsi que l'a dit M. Doyère, il ne faut pas que les substances soient cuites. Vous remarquerez que l'intérêt de mes expériences dans la discussion qui nous occupe est d'écarter cette objection de votre part. Le mot de matières cuites ne peut s'appliquer à des corps tels que ceux qui composent le milieu dont j'ai parlé

tout à l'heure. Une température préalable de 100° n'a pas d'influence assurément sur les phénomènes chimiques auxquels peuvent donner lieu ultérieurement des substances de ce genre pour ainsi dire toutes minérales.

Malgré l'invitation que vous avez bien voulu m'adresser, j'oserais presque vous prier, Monsieur, de m'excuser d'avoir pris la liberté de vous dire ce que je pensais dans un sujet aussi délicat et qui n'a été qu'accidentellement et pour une très petite part dans la direction de mes études [1].

Veuillez agréer, Monsieur, l'expression de mes sentiments les plus distingués.

Signé : L. Pasteur.

1. Cette lettre est de février 1859. Les premières publications de Pasteur sur les générations dites spontanées sont postérieures à cette date. (*Note de l'Édition.*)

IV. — RAPPORT SUR LE PRIX JECKER, ANNÉE 1861 [1]

Commissaires : MM. Dumas, Pelouze, Regnault, Balard, Fremy.
Chevreul rapporteur.

La Section de chimie, à l'unanimité, décerne le prix Jecker, pour l'année 1861, à M. Pasteur.

La Section de chimie se garde bien de faire une distinction entre des travaux fort divers dont le grand mérite à ses yeux est précisément la continuité des premiers avec les derniers. Les vérités qu'ils établissent ont une précision, une netteté incontestables et, à cause de ce qu'ils se continuent, leur complexité et le nombre de leurs relations va sans cesse en croissant. En effet, lorsqu'au point de départ on trouve l'idée de l'espèce chimique approfondie par la découverte de quatre états isomériques dans l'acide tartrique, l'état inactif relativement au plan de la lumière polarisée, l'acide tartrique droit, l'acide tartrique gauche, et l'acide racémique résultant de l'union des deux derniers, cette découverte est bientôt assez généralisée par l'auteur pour que la pensée en saisisse toute l'importance dans l'état actuel de la science et dans l'avenir.

En même temps que la cristallographie présidait à la distinction des formes hémiédriques des acides tartriques droit et gauche, la chimie montrait l'affinité mutuelle de ceux-ci, et l'analyse chimique séparait les deux acides l'un d'avec l'autre. Enfin, plus tard, M. Pasteur parvenait, au moyen de la chaleur, à convertir en acide racémique l'acide tartrique droit ou l'acide tartrique gauche qui étaient unis aux alcalis du quinquina.

La fermentation spiritueuse, qui avait occupé tant de savants distingués, est reprise par M. Pasteur : il ne s'arrête pas devant une équation chimique entre les éléments du sucre et ceux de l'alcool et de l'acide carbonique, équation qui, à cause de sa simplicité même, avait été généralement considérée comme définitive. M. Pasteur se demande si l'équation dont nous parlons, quelque simple qu'elle soit en apparence, est réellement l'expression des faits, si elle est démontrée de manière qu'on soit autorisé à s'en servir pour déterminer, comme on l'avait fait si souvent, la quantité de sucre contenue dans un liquide d'après les quantités d'alcool et d'acide carbonique produites par ce liquide en fermentation. A cette question M. Pasteur ne trouve aucune preuve que l'expérience ait démontré qu'une quantité donnée

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 23 décembre 1861, LIII, p. 1158-1162.

de sucre n'ait produit que de l'alcool et de l'acide carbonique; dès lors le savant, qui avait donné une preuve si éclatante par ses travaux sur les acides tartriques de ses connaissances cristallographiques et physiques, recourt à l'analyse organique immédiate qui semble n'être féconde en grands résultats qu'entre les mains de ceux qui l'ont beaucoup pratiquée, et bientôt M. Pasteur, à son début dans l'exercice de cette branche de la chimie, découvre, à l'étonnement de tous, la glycérine et l'acide succinique parmi les produits de la fermentation spiritueuse.

Voilà donc le phénomène chimique de la fermentation spiritueuse qu'on croyait parfaitement connaître, qu'une analyse immédiate approfondie et des plus délicates démontre ne pas l'avoir été avant M. Pasteur.

Mais l'étude de cette fermentation est-elle complète après que l'analyse immédiate a été si heureusement appliquée à ses produits? M. Pasteur ne l'a pas pensé. M. Cagniard de Latour avait fait la belle observation que la levûre considérée comme ferment du sucre semble augmenter en végétant à la manière d'une plante, lorsqu'elle est dans l'eau sucrée. M. Pasteur vérifie cette observation, comme l'avaient fait déjà Turpin, Schwann et Kützing, et bientôt il lui donne une extension qu'on était loin de soupçonner. D'où vient cette levûre, déjà vivante quand M. Cagniard de Latour l'observa? M. Pasteur répond d'une *spore* ou graine d'une mucédinée. Cette spore peut être dans les matières albuminoïdes qu'on a appelées *ferments*, quand elles ont acquis, dit-on, la faculté d'exciter la fermentation dans l'eau sucrée, après avoir subi l'influence du gaz oxygène, ou bien cette spore peut se trouver en suspension dans l'atmosphère par suite d'une impulsion qu'elle a reçue d'une cause quelconque. Dès que la spore a perdu le mouvement qui la suspendait dans l'air, elle tombe; et là où la spore rencontre une nourriture appropriée, elle donne naissance à des globules de levûre, et si cette levûre a le contact de l'eau sucrée et de phosphates terreux, la fermentation spiritueuse s'établit, et la levûre s'accroît et se multiplie aux dépens de la matière ambiante. Non seulement le sucre produit de l'alcool, de l'acide carbonique, de la glycérine, de l'acide succinique, mais il cède à la levûre les éléments nécessaires à la production du ligneux et d'une matière grasse.

La levûre n'est donc plus une matière morte : c'est, comme l'a vu M. Cagniard de Latour, un corps vivant dont le développement vital, suivant M. Pasteur, a pour effet la fermentation spiritueuse; ou, en d'autres termes, celle-ci est un phénomène chimique essentiellement subordonné à une action vitale.

M. Pasteur attribue la cause première de diverses fermentations à diverses espèces de plantes mycodermiques et même à diverses espèces d'animaux infusoires. Si l'air a été reconnu pour être indispensable au premier mouvement d'une fermentation, ce n'est point par son oxygène qu'il agit, mais bien par les spores de ces plantes ou les œufs d'infusoires qu'il répand dans la liqueur susceptible de fermenter.

Comment M. Pasteur a-t-il saisi ces spores, ces œufs dans l'air? Il fait passer de l'air atmosphérique dans un tube de verre contenant du coton-poudre. Si cet air tient en suspension des spores, des œufs, il les abandonne au coton-poudre, dans lequel il se filtre. Puis, en soumettant celui-ci à l'action de l'éther alcoolique, M. Pasteur dissout le coton-poudre, et le

résidu, examiné au microscope, présente des corps organisés qui ont bien la propriété de développer la fermentation. Car, si, au lieu de coton-poudre, on s'est servi de filaments d'amiante, en secouant ceux-ci dans des liquides susceptibles de fermenter, la fermentation s'établit si celle-ci est possible sous l'influence des spores ou œufs recueillis par l'ingénieux procédé que nous rappelons.

Quelle conséquence M. Pasteur tire-t-il de ces faits? C'est que du moment où l'on prouve que les matières albuminoïdes privées de la vie et soumises au contact du gaz oxygène n'ont pas la faculté d'exciter la fermentation des matières qui en sont susceptibles, et que les véritables ferments sont des corps vivants, il faut nécessairement reconnaître que les spores ou les œufs de ces corps vivants se trouvent dans les matières albuminoïdes ou bien ont été déposés par l'air dans les liquides fermentescibles. En adoptant l'opinion contraire, ce serait reconnaître l'existence des générations spontanées.

C'est en poursuivant ces travaux avec la plus louable activité et le zèle le plus éclairé, que M. Pasteur a découvert plusieurs végétaux mycodermiques et des animaux infusoires constituant chacun un ferment spécial. Par exemple, il a reconnu que le ferment, qui convertit le sucre, la mannite et l'acide lactique en acide butyrique, est un animalcule infusoire, et, fait bien digne d'être signalé, *cet infusoire vit sans gaz oxygène libre*; et il y a plus : *soumis dans le liquide où il vit à un courant de ce gaz, il périt*, tandis qu'il continue à vivre dans la même circonstance s'il est soumis à un courant de gaz acide carbonique.

Les travaux physiologiques de M. Pasteur ne s'arrêtent pas là. L'auteur signale des faits du plus haut intérêt quant à l'assimilation de la matière morte à des corps vivants.

Ainsi quelques globules de levûre de bière, mis dans de l'eau sucrée avec du tartrate droit d'ammoniaque et des phosphates terreux, se développent et se multiplient, en même temps que s'opère la fermentation spiritueuse. L'examen des matières apprend que le végétal qui constitue la levûre s'est développé aux dépens des phosphates, des éléments du tartrate droit d'ammoniaque et du carbone du sucre.

Ainsi des spores de mucédinées germent, se développent et fructifient dans de l'eau qui ne contient que du racémate d'ammoniaque et des phosphates.

Enfin du racémate d'ammoniaque formé de tartrate droit et de tartrate gauche d'ammoniaque mis dans l'eau avec des matières albuminoïdes, des phosphates terreux et le végétal mycodermique, ferment tartrique, donnent lieu à la végétation de celui-ci, lequel se nourrit aux dépens des matières albuminoïdes, des phosphates et du tartrate droit d'ammoniaque, de sorte qu'après le développement du mycoderme l'eau ne contient plus que du tartrate d'ammoniaque gauche! Ce fait est bien remarquable, puisqu'il prouve que de deux corps isomères et hémiédriques il n'en est qu'un qui puisse servir d'aliment. Que de réflexions suggère cette observation pour la théorie de l'assimilation!

Voilà comment le savant qui s'est occupé de cristallographie, de physique et de chimie entre dans le domaine de la physiologie. Voilà comment il aborde aujourd'hui la question si controversée des générations spontanées

avec le concours des sciences mathématiques, physiques et chimiques, et comment des expériences précises jettent déjà une si vive lumière sur différents points de l'histoire des corps vivants !

En résumé, la précision et la clarté caractérisent les travaux de M. Pasteur. On ne s'aperçoit de la fécondité des inductions auxquelles le sujet qu'il traite actuellement l'a conduit, que dans des travaux subséquents, parce que les inductions qu'il s'était réservées n'apparaissent au public qu'après être passées à l'état de vérités démontrées. C'est en examinant d'abord les recherches de M. Pasteur dans l'ordre chronologique, et en en considérant ensuite l'ensemble, qu'on peut apprécier la rigueur des jugements du savant dans les conclusions qu'il en déduit, et la perspicacité d'un esprit pénétrant qui, fort des vérités qu'il a trouvées, se porte en avant pour en établir de nouvelles.

V. — PRIX ALHUMBERT POUR L'ANNÉE 1862. RAPPORT SUR CE CONCOURS FAIT DANS LE COMITÉ SECRET DE LA SÉANCE DU 1er DÉCEMBRE [1]

(Commissaires : MM. MILNE EDWARDS, FLOURENS, BRONGNIART, COSTE, CLAUDE BERNARD rapporteur.)

La propagation des êtres vivants par génération sexuelle ou par parenté a toujours été de l'évidence la plus vulgaire en histoire naturelle. Cependant, pour des animaux et des végétaux placés dans certaines conditions, la filiation ne parut pas assez nette à tous les observateurs, et l'on put supposer que des êtres arrivaient à la vie sans parents ou sans aïeux. Telle fut l'origine de cette hypothèse dite des générations spontanées, équivoques, ou hétérogènes, etc. Cette idée eut cours dès le début de la science, et depuis Aristote jusqu'à nos jours la question des générations spontanées a suivi une évolution que chacun connaît.

Nous ferons seulement remarquer ici que les idées qui apparaissent dans les sciences présentent deux aspects opposés dans leur développement : les idées vraies, partant le plus souvent d'un très petit nombre de faits simples bien observés, grandissent à mesure que les connaissances augmentent et s'étendent de plus en plus ; les idées erronées, embrassant ordinairement dès l'abord un grand nombre de faits obscurs et mal vus, s'amoindrissent au contraire et disparaissent en raison directe des progrès de la science. La question des générations spontanées s'est trouvée dans ce dernier cas, en ce sens qu'elle s'est toujours circonscrite de plus en plus devant les lumières de l'expérience. D'abord étendus aux mollusques, aux articulés, et jusqu'aux vertébrés, les cas de générations spontanées étaient depuis longtemps relégués uniquement dans les parties restées les plus obscures de l'histoire naturelle, c'est-à-dire dans les animaux infusoires. Mais nous venons de voir que le prix de physiologie expérimentale a été décerné cette année à un travail dans lequel la génération sexuelle des infusoires est mise en évidence : la science suit donc sa marche naturelle, et il n'y a pas lieu de lui imprimer une autre direction. Il ne s'agit point ici, en effet, d'une question de métaphysique, mais d'une question de science purement expérimentale qui ne peut être résolue qu'en laissant de côté toute hypothèse sur l'origine des êtres et en procédant lentement du connu à l'inconnu.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 29 décembre 1862, LV, p. 977-978.

Il y a quelques années cette question des générations spontanées, déjà sur son déclin, fut en quelque sorte réveillée et rajeunie par des vues nouvelles bien connues qu'on y introduisit. A cette occasion beaucoup de travaux furent adressés à l'Académie, et la Commission du prix Alhumbert, voulant encourager autant que possible les expériences sur ce sujet, mit au concours la question suivante :

« *Essayer par des expériences bien faites de jeter un nouveau jour sur la question des générations dites spontanées.* »

La Commission demande des expériences précises, rigoureuses, également étudiées dans toutes leurs circonstances et telles, en un mot, qu'il puisse en être déduit quelques résultats dégagés de toute confusion née des expériences mêmes.

Les termes de la question indiquent que la Commission n'a pas demandé une solution qui ne peut être fournie que par le temps ; elle a voulu seulement appeler et faire surgir des expériences bien faites. Parmi les travaux soumis à son examen, la Commission a remarqué en première ligne le Mémoire de M. Pasteur sur les *Corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère* (1). Ce travail renferme un nombre considérable d'expériences originales et remarquables par leur précision, qui jettent une vive lumière sur les conditions de production et de développement d'un grand nombre d'organismes inférieurs, soit animaux, soit végétaux. La Commission a été à même de voir un certain nombre de ces expériences, de constater l'exactitude des résultats et d'admirer l'habileté expérimentale bien connue de leur auteur. En conséquence, le prix Alhumbert est accordé à l'unanimité au travail de M. Pasteur sur les *Corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère*.

1. *Voir* ce Mémoire p. 210-294 du présent volume. (*Note de l'Édition.*)

VI. — RAPPORT SUR LES EXPÉRIENCES RELATIVES A LA GÉNÉRATION SPONTANÉE (1)

(Commissaires : MM. Flourens, Dumas, Brongniart, Milne Edwards, Balard rapporteur.)

La culture des sciences d'observation soulève des questions qui ne peuvent jamais recevoir de l'expérience une solution absolue, et de ce nombre se trouve celle de la génération spontanée. L'idée qu'un être vivant peut, dans les conditions actuelles, prendre naissance sans l'existence antérieure d'un autre être, vivant aussi, qui en a fourni le germe, a été débattue dans tous les temps, et comme rien n'abonde à l'égal des observations vagues et sans précision, les raisons déduites, en apparence du moins, de l'expérience directe n'ont jamais manqué pour soutenir cette doctrine. Mais une étude plus sévère vient montrer que ces faits ont été mal observés, et les cas nouveaux où la matière semblait s'organiser d'elle-même rentrant alors dans la classe de ceux où l'existence d'un germe antérieur est évidente, la question semble disparaître de l'arène scientifique. Bientôt cependant elle se représente appuyée encore en apparence sur l'observation, mais portant cette fois sur des êtres de dimensions de plus en plus petites, et pour lesquelles nos moyens d'investigation sont incertains. Mais, d'un côté, l'habileté plus grande des observateurs ; de l'autre, les progrès dans la construction du microscope, font encore rentrer ces nouveaux faits dans la série des faits connus et ordinaires.

On conçoit qu'en procédant ainsi, la science doit fatalement arriver à un point où, l'exiguïté des organismes observés devenue extrême, et le pouvoir grossissant de nos microscopes, dont nous sommes bien près d'avoir atteint la limite, étant à peine suffisant pour montrer dans leur état de plus grand développement les êtres sur lesquels on discute, nous resterons dans l'impuissance de voir les corps reproducteurs plus exigus qui peuvent leur avoir donné naissance ; et à moins que la science ne s'enrichisse de moyens plus puissants d'observation tout nouveaux, et dont nous ne pouvons avoir aujourd'hui l'idée, la question arrivée à ce terme sortira du domaine des faits pour entrer dans celui de la discussion pure. Les uns, guidés par l'induction scientifique, concluront que la nature, toujours d'accord avec elle-même (*semper sibi consona*), procède dans ces organismes inconnus

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 20 février 1865, LX, p. 384-395.

comme elle le fait pour ceux que nous pouvons observer; d'autres, se fondant sur ce qu'à l'origine des choses la matière a été organisée sans germes antérieurs, penseront que cette puissance créatrice peut manifester encore ses effets dans les régions de l'infiniment petit dont l'accès nous est interdit, et qu'une opposition absolue dans leur mode de production sépare les êtres qu'il nous est possible d'étudier de ceux que l'exiguïté de leurs dimensions soustrait pour toujours à nos observations. De là des discussions qui, aussi vieilles que le monde, doivent évidemment rester éternelles, et des opinions radicalement opposées, entre lesquelles l'Académie n'est pas appelée à faire de choix. Sa mission n'a jamais consisté à adopter telle ou telle doctrine, mais à contrôler les faits sur lesquels s'appuient les opinions diverses, et quand il s'en trouve d'une importance capitale qui, affirmés par les uns, sont niés par les autres, elle doit vérifier entre ces assertions opposées quelles sont celles qui, conformes à la vérité, méritent seules de servir d'élément à une discussion sérieuse.

Or, parmi les expériences dont les résultats sont présentés comme favorables ou contraires à la doctrine des générations spontanées, il en est une dont l'importance a frappé tous les esprits, et qui, d'un accord unanime, est regardée comme capitale.

Dans le Mémoire publié par M. Pasteur, ce savant affirme *qu'il est toujours possible de prélever, en un lieu déterminé, un volume notable d'air ordinaire n'ayant subi aucune modification physique ou chimique, et tout à fait impropre néanmoins à provoquer une altération quelconque dans une liqueur éminemment putrescible.*

MM. Pouchet, Joly et Musset ont écrit à l'Académie que *ce résultat est erroné.*

M. Pasteur a porté à ces messieurs le défi de donner la preuve expérimentale de leurs assertions.

Ce défi a été accepté par MM. Pouchet, Joly et Musset, dans les termes que voici : *Si un seul de nos ballons demeure inaltéré*, disent MM. Joly et Musset, *nous avouerons loyalement notre défaite* (1).

M. Pouchet a accepté le même défi dans les termes suivants : *J'atteste que sur quelque lieu du globe où je prendrai un décimètre cube d'air, dès que je mettrai celui-ci en contact avec une liqueur putrescible renfermée dans des matras hermétiquement clos,* CONSTAMMENT *ceux-ci se rempliront d'organismes vivants* (2).

L'Académie, acceptant la mission de vider la question posée en ces termes, a nommé, dans sa séance du 4 janvier [1864], une Commission chargée de faire répéter en sa présence les expériences dont les résultats sont invoqués comme favorables ou contraires à la doctrine de la génération spontanée.

La Commission, vers la fin de février, s'est donc mise en communication avec MM. Pouchet, Joly et Musset, en indiquant les premiers jours de mars comme ceux où pourraient commencer les expériences. Mais cette époque de l'année ne parut pas convenable à ces savants, qui soutiennent ce qu'on

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1863, LVII, p. 845.
2. *Ibid.*, p. 902. (*Notes de l'Édition.*)

appelle généralement la doctrine de l'hétérogénie. Ils demandèrent que les expériences fussent remises aux jours chauds de l'été, la température encore faible du mois de mars et les variations qu'elle subit pouvant devenir une cause d'insuccès pour la manifestation des faits qu'ils se proposaient de reproduire devant la Commission. Celle-ci n'attribuait certes aucune influence mystérieuse à la chaleur naturelle, la seule que MM. Pouchet, Joly et Musset voulaient employer : elle pensait qu'une étuve chauffée par une source artificielle de chaleur présentait plus de garantie d'obtenir telle température qui serait nécessaire et de la maintenir constante pendant longtemps, mais elle crut devoir obtempérer au désir de MM. Pouchet, Joly et Musset et ajourner les expériences projetées au mois de juin suivant.

Le 16 juin une première séance préparatoire réunit les membres de la Commission, ainsi que M. Pasteur et MM. Pouchet, Joly et Musset; mais au bout de quelques instants il fut facile de s'assurer qu'elle ne pourrait amener aucun résultat; car, priés par la Commission d'indiquer ce qui était nécessaire pour répéter les expériences en vases clos qu'ils opposaient à celles de M. Pasteur, les trois savants partisans de l'hétérogénie déclarèrent qu'ils ne s'étaient pas déplacés pour faire les expériences de M. Pasteur, mais les leurs propres [1].

Aux demandes de la Commission pour savoir quelles étaient parmi ces expériences celles qui leur paraissaient les plus importantes et qui, dans leur pensée, étaient tout à fait décisives, *cruciales* en un mot, selon l'expression consacrée, ils répondirent par un programme d'observations et d'expériences rangées par ordre d'importance. Il a été lu à l'Académie, qui a vu que l'expérience capitale dont nous avons parlé, et sur le résultat de laquelle ces savants avaient porté un jugement si précis, ne figurait qu'au dernier rang.

La Commission, convaincue qu'en suivant cette voie elle ne trouverait, au bout de laborieuses recherches, que des faits vagues et mal déterminés, source nouvelle de doutes et de discussions; résolue, pour répondre au vœu de l'Académie, de rester dans le domaine de ceux qui sont observables avec certitude et dont le plus important avait donné lieu au débat, fit parvenir à MM. Pouchet, Joly et Musset une Note indiquant la marche qu'elle prétendait suivre, et qui fut communiquée à l'Académie dans la séance d'après. On lisait dans cette Note :

« *L'Académie, en nommant, dans sa séance du 4 janvier, une Commission pour répéter en sa présence les expériences dont les résultats sont invoqués comme favorables ou contraires à la doctrine des générations spontanées, a eu surtout pour but de connaître la vérité entre les deux assertions précises et contradictoires qui ont été émises devant elle. C'est aussi celles que la Commission désire élucider en premier lieu. Décidée à procéder dans cette étude,*

1. Dans la séance du 20 juin 1864 (LVIII, p. 1161), « M. le Secrétaire perpétuel annonce que la Commission qui a été chargée par l'Académie de discuter les expériences qui ont été ou seront produites relativement à la *question des générations dites spontanées* a rédigé un programme qui a été remis à MM. Pouchet, Joly et Musset. Ces expérimentateurs, après en avoir pris connaissance, n'ont pas cru pouvoir l'admettre dans les termes où il est conçu, et en ont rédigé un nouveau. La Commission l'examinera et jugera si elle peut se départir de quelqu'une des conditions qu'elle avait posées, sans s'exposer à laisser introduire des causes d'erreur qu'elle a tenu surtout à écarter. » (*Note de l'Édition.*)

EXPÉRIENCES PAR EXPÉRIENCES BIEN CARACTÉRISÉES, *en faisant successivement connaître à l'Académie les résultats qu'elle aura constatés, elle désire répéter d'abord celle qui, devenue propre aux deux parties qui l'ont exécutée l'une et l'autre avec des résultats différents, est réputée par chacune d'elles comme également probante.* » Suivaient ensuite quelques observations indiquant que les expériences seraient faites au laboratoire de chimie du Muséum d'Histoire naturelle ; que chacune des parties opérerait avec trois séries de vingt ballons chacune, M. Pasteur avec la liqueur dont il a coutume de faire usage, MM. Pouchet, Joly et Musset avec l'infusion de foin liquide dont ils s'étaient servis dans leurs expériences faites à Toulouse et sur la Maladetta, pourvu qu'il fût établi que cette infusion conservait sa limpidité absolue et ne pouvait, par un phénomène d'oxydation chimique, donner lieu à la formation d'un précipité susceptible de rendre les observations microscopiques moins probantes.

Comme MM. Pouchet, Joly et Musset avaient répondu à cette Note en présentant à l'Académie leur propre programme, dans la voie duquel aucun Membre de la Commission n'aurait voulu s'engager, le regardant comme tout à fait incapable d'amener un résultat net et à l'abri de la discussion, elle fut agréablement surprise en voyant les trois savants partisans de l'hétérogénie exacts au rendez-vous qui avait été donné au Muséum d'Histoire naturelle pour le mardi suivant, le 22 juin.

M. Pasteur présenta d'abord à la Commission et à ses antagonistes trois ballons remplis d'air en 1860 sur le Montanvert et contenant de l'eau de levûre, liqueur fermentescible sur laquelle il opère ordinairement. De l'aveu de tous, la transparence était parfaite et rien d'organique ne s'était développé. Mais ces ballons contenaient-ils de l'oxygène? La pointe de l'un d'eux fut cassée sous le mercure, et l'analyse de l'air qu'il contenait, faite par l'introduction de la potasse d'abord et de l'acide pyrogallique ensuite, montra à la fois qu'il ne contenait pas d'acide carbonique, et qu'il renfermait, comme l'air normal, 21 pour 100 d'oxygène. Dès lors, le liquide fermentescible qu'il contenait était resté près de quatre ans au contact de l'air, sans absorber une quantité appréciable d'oxygène.

Il n'était rentré dans ce ballon que du mercure provenant du fond de la cuve, et la liqueur en est restée inaltérée. Un autre ballon, non ouvert, qui est sous les yeux de l'Académie, conserve sa limpidité parfaite. Un troisième ballon fut cassé à son goulot, de manière que son col maintenu vertical présentât à l'air une ouverture moindre que 1 centimètre carré. Le samedi 25 il s'y manifestait déjà cinq flocons d'un mycelium lâche qui s'est considérablement développé plus tard.

Ainsi, pour terminer ce qui est relatif à cette expérience, en admettant que les ballons présentés par M. Pasteur ont été remplis d'air en 1860, ce qui n'est l'objet d'un doute pour personne, il est bien établi que l'eau de levûre peut rester près de quatre ans en contact avec l'oxygène de l'air, à une température d'environ 25° maintenue constante, sans qu'il s'y développe le moindre organisme, et sans que l'air avec lequel cette matière organique est en contact éprouve la moindre altération. A ce ballon unique, que MM. Joly et Musset regardaient comme suffisant pour les convaincre, M. Pasteur en aurait pu ajouter bien d'autres, car les 73 vases de ce genre

qu'il a rapportés du Montanvert et du Jura lui ont permis, tout en expérimentant lui-même sur un grand nombre d'entre eux, d'en réserver pour les observations ultérieures un nombre plus grand encore, qui, comme celui que nous avons l'honneur de présenter à l'Académie, sont aussi restés inaltérés.

M. Pasteur, en présence des Membres de la Commission et de MM. Pouchet, Joly et Musset, se mit ensuite en mesure de remplir les 60 ballons, sur lesquels devaient porter ses propres expériences, de la liqueur fermentescible qu'il avait préparée en faisant une décoction de 100 grammes de levûre par litre d'eau. Chacun de ces ballons, de 250 à 300 centimètres cubes, fut rempli, au tiers environ, de ce liquide limpide contenu dans un grand flacon, dont le maniement seul donnait lieu à une fréquente agitation. Le col de ces ballons fut étiré à la lampe en tube très étroit, et le liquide qu'ils contenaient maintenu à l'ébullition pendant un temps sensiblement égal, deux minutes environ, après quoi chacun d'eux fut immédiatement fermé à la lampe. Il en resta 56 ayant résisté sans se casser à ces différentes opérations. Quatre autres ballons furent remplis du même liquide, mais leur col fut effilé, contourné et laissé ouvert ; ces ballons furent aussi soumis à l'ébullition pendant deux minutes et abandonnés à eux-mêmes.

Dans le cas où MM. Pouchet, Joly et Musset n'auraient pas été convaincus par l'examen fait sous leurs yeux des ballons provenant du Montanvert, la Commission pensait qu'ils s'étaient mis en mesure d'opérer parallèlement avec le liquide fermentescible dont ils avaient coutume de se servir. Cependant, le temps qu'elle voulait n'employer qu'à l'observation des faits, ce qu'elle regardait comme la seule mission qu'elle eût à remplir, s'écoulait en discussions générales et vaines sur le programme suivi et sur la convenance, que la Commission ne pouvait admettre, d'adopter pour ces expériences l'ordre indiqué par MM. Pouchet, Joly et Musset. Cet ordre, il est nécessaire de le rappeler, écartant l'objet du débat dont l'Académie nous avait saisis, plaçait, au premier rang, des expériences telles que celles-ci : analyse microscopique de l'air de l'amphithéâtre où nous opérions, analyse microscopique d'un litre de bière, etc., études dont il suffit d'énoncer l'indication pour que les personnes accoutumées au maniement du microscope en comprennent l'insoluble difficulté. Aussi la Commission se refusa-t-elle de nouveau à les suivre sur un terrain qui ne pouvait fournir aucun résultat. Pressés de conclure, ces messieurs, après s'être retirés et concertés ensemble, déclarèrent à la Commission que puisqu'elle ne voulait faire *qu'une expérience*, ils se retiraient du débat. En vain votre Commission, à plusieurs reprises, s'en référant au texte de sa Note, essaya-t-elle de montrer qu'en déclarant qu'elle voulait procéder *expériences par expériences bien caractérisées*, elle n'avait pas annoncé l'intention de se borner à une seule, mais que ne pouvant les exécuter toutes à la fois, forcée d'adopter un ordre et de faire un choix, elle avait naturellement assigné le premier rang à celle que l'Académie avait en vue en nommant la Commission, qui constituait l'objet même du dissentiment, et qui d'ailleurs lui paraissait la plus importante. Le reproche adressé à la Commission, de ne vouloir faire qu'une expérience, ayant été, malgré nos affirmations contraires, reproduit à plusieurs reprises, et la réponse réitérée et de plus en plus accentuée de

la Commission étant restée sans effet, elle fut obligée d'admettre qu'on était décidé à ne pas la comprendre. Toute discussion cessa. MM. Pouchet, Joly et Musset, renonçant à exécuter les expériences pour lesquelles surtout ils avaient été invités à se rendre à Paris, se retirèrent, et celle qui était commencée dut être continuée par M. Pasteur en présence des Membres seuls de la Commission.

Le col des ballons préparés fut brisé par M. Pasteur avec toutes les précautions qu'il a recommandées comme indispensables, et qui plus d'une fois ont dû être négligées par d'autres expérimentateurs comme excessives et inutiles, telles que chauffage à la flamme de la partie effilée des ballons, chauffage des pinces qui servent à leur rupture, éloignement aussi grand que possible du corps de l'opérateur, etc., etc.

On y fit ainsi entrer de l'air pris à l'intérieur du grand amphithéâtre du Muséum, sur les gradins élevés, et les tubes effilés furent ensuite fermés avec l'éolipyle. On constata que le vase portant le n° 19 ne fit pas entendre le sifflement annonçant que l'air y rentrait avec une grande vitesse, ce qui indiquait qu'il avait été mal fermé en premier lieu. Il a été laissé dans cet état, sans le fermer de nouveau. Nous désignerons ces premiers vases par le nom de *ballons de la première série*. Dix-neuf autres de ces ballons furent ouverts à l'extérieur, sur le point le plus élevé du dôme de l'amphithéâtre, et fermés de nouveau comme les précédents. Ces ballons ont été désignés sous le nom collectif de *ballons de la deuxième série*.

Comme, pendant l'ouverture de ces ballons, le vent était fort et traversait Paris, la Commission, pour varier les conditions de la prise d'air, et convaincue d'ailleurs qu'on ne se fait pas une idée juste de la dissémination des séminules organisées dans l'air pris au milieu des villes et dans l'air récolté au voisinage des végétaux vivants ou de leurs débris, crut convenable d'opérer à la campagne. Dix-huit ballons constituant la troisième série furent ouverts et fermés à Bellevue, au milieu d'un gazon, sous un massif de grands peupliers de l'habitation de l'un de nous.

Ces trois séries de ballons furent alors placées dans une armoire du Muséum fermée par un simple grillage, de telle sorte que les résultats généraux de l'expérience pouvaient ainsi être appréciés par tous ceux qui y avaient accès.

On plaça dans les mêmes conditions les quatre ballons à col effilé, contourné et ouvert, ainsi que trois verres à expérience remplis de la liqueur limpide qu'avait employée M. Pasteur.

Dès le lendemain, le liquide de ces trois verres, déjà troublé, indiquait la présence de myriades de bactéries. L'observation au microscope en démontra l'existence à la Commission trois jours plus tard. L'aspect louche de la liqueur contrastait, le 23 juin, avec la transparence parfaite du liquide contenu dans les ballons.

L'examen de ces ballons fut fait par la Commission à différentes époques; les tableaux suivants résument d'une manière synoptique les changements qu'elle a constatés :

RÉSULTATS OBSERVÉS DANS L'EXAMEN, FAIT PAR LA COMMISSION, DES BALLONS DE LA 1re SÉRIE

NUMÉROS des ballons	25 JUIN	28 JUIN	2 JUILLET	5 JUILLET	20 JUILLET	NOVEMBRE
1.	» *	»	»	»	»	»
2.	»	»	»	»	»	»
3.	»	»	»	»	»	»
4.	»	»	»	»	»	»
5.	»	»	Mycelium	Moisissures abondantes	Sporanges développées	Végétation abondante
6.	»	»	»	»	»	»
7.	»	»	»	»	»	»
8.	»	»	»	»	»	»
9.	»	»	»	»	»	»
10.	»	»	»	»	»	»
11.	»	»	»	»	»	»
12.		»	Mycelium.	Moisissures.	Sporanges développées	Végétation abondante.
13.	»	»	»	»	»	»
14.	Mycelium.	Développement du mycelium.	Mycelium très développé	Moisissures.	Sporanges développées	Végétation abondante.
15.	»	»	»	»	»	»
16.	»	»	Mycelium naissant	Moisissures abondantes.	Moisissures	Végétation abondante.
17.	»	»	»	»	»	»
18.	»	»	»	»	»	»
19(**	»		Mycelium naissant	Moisissures abondantes	Moisissures abondantes	Végétation abondante.

* Les guillemets signifient que le liquide est resté limpide.
** Vase dont l'effilure s'était cassée.

RÉSULTATS OBSERVÉS DANS L'EXAMEN, FAIT PAR LA COMMISSION, DES BALLONS DE LA 2e SÉRIE

NUMÉROS des ballons	25 JUIN	28 JUIN	2 JUILLET	5 JUILLET	20 JUILLET	NOVEMBRE
1. .	»	»		»	»	»
2. .	»		»	»	»	»
3. .	»	»	»	»	»	»
4. .	»	»	»	»	»	Torula
5. .	»	»	»	»	»	»
6. .	»	»	»	»	»	»
7. .	»	»	»	»	»	»
8. .	»	»	»	»	»	Moisissures abondantes.
9. .	»	»	»	»	»	»
10. .	»	»	»	»	»	»
11. .	»	»	»	»	»	»
12. .	»	»	»	»	»	»
13. .	»	»	»	»	»	»
14. .	»	»	»	»	»	Débris de vibrions. Pas de moisissures
15. .	»	»	»	»	Moisissure en boule.	Moisissures abondantes.
16. .	»	»	Mycelium.	Mycelium plus étendu.	Moisissures très développées	Moisissures abondantes
17. .	»	»	»	»	»	»
18. .	»	»	»	»	»	Moisissures abondantes particulières
19. .	»	»	»	»	»	»

RÉSULTATS OBSERVÉS DANS L'EXAMEN, FAIT PAR LA COMMISSION, DES BALLONS DE LA 3e SÉRIE

NUMÉROS des ballons	25 JUIN	28 JUIN	2 JUILLET	5 JUILLET	20 JUILLET	NOVEMBRE
1. .	»	Mycelium.	Mycelium.	Végét. avec sporanges.	Végétation.	Végétation
2. .	Deux myceliums différents.	Mycelium.	Mycelium.	Végét. avec sporanges	Végétation.	Végétation.
3. .	»	»	»	»	»	Végétation.
4. .	»	»	»	»	Petite moisissure en boule.	Végét. avec sporanges.
5. .	Mycelium naissant	Mycelium.	Mycelium	Végét. avec sporanges.	Végétation.	Végétation.
6 (*)	»	»	»	»	»	»
7. .	»	Mycelium.	Mycelium.	Mycelium	Végét. avec sporanges.	Végétation.
8. .	»	»	Le liquide se trouble.	Trouble.	Trouble.	Trouble.
9. .	»	»	»	»	Mycelium.	Végétation.
10. .	Mycelium lâche et torula.	Dépôt abondant trouble.	Trouble et dépôt	Trouble.	Trouble.	Trouble.
11. .	»	Mycelium.	Mycelium développé.	Trouble.	Trouble.	Trouble.
12. .	»	Mycelium.	»	Trouble et moisissures.	Trouble et moisissures.	Trouble.
13. .	Trouble produit par bactéries.	»	»	Trouble.	Trouble.	Végétation.
14. .	»	Mycelium.	Mycelium développé.	Mycelium développé.	Végétation développée avec sporanges.	Trouble et végétation.
15. .	»	»	»	»	»	Végétation.
16. .	»	»	»	»	»	»
17. .	»	»	»	Trouble et végétation.	Trouble et végétation.	Trouble et végétation.
18. .	»	Mycelium.	Mycel. plus développé.	Trouble et mycelium	Trouble et végétation.	Trouble et végétation

* Ce ballon avait été mal fermé.

Leur inspection suffit pour montrer que, si dans le cours d'un mois on voit apparaître la plus grande partie des phénomènes qui doivent se produire dans un laps de temps indéfini, il est cependant quelques cas, en petit nombre il est vrai, où de nouveaux développements organiques se manifestent après ce délai (1).

Sur 19 ballons de la première série, remplis d'air pris dans l'amphithéâtre, il n'en est que 5 dans lesquels il se soit manifesté quelques développements organiques; 14 sont restés intacts.

La deuxième série de ballons pleins d'air pris sur le dôme de l'amphithéâtre nous en offre 13 restés sans altération, tandis que 6 seulement ont donné naissance à des êtres vivants.

Mais la proportion change notablement dans les ballons remplis d'air à Bellevue : sur 18 de ces vases, 16 ont été altérés.

En envisageant les germes comme la cause des développements produits dans les ballons objets de nos essais, on pouvait être porté à penser que près d'une prairie, sous des arbres, au milieu de ces sources nombreuses de production et de dissémination des séminules de tout genre, l'air en serait plus chargé qu'au sein des villes elles-mêmes, et, ainsi qu'on vient de le voir, les résultats de nos expériences sont en accord avec cette supposition.

Il est aussi à noter que la nature des développements organiques a varié également dans les trois circonstances où nous nous sommes placés. Il ne s'est développé que des moisissures dans les ballons de la première et de la deuxième série qui ont subi quelque altération, tandis que, parmi ceux qui ont été remplis d'air à Bellevue, il y en avait 7 sur 16 où s'étaient développés des animalcules infusoires dont le mouvement au milieu du liquide en troublait la transparence.

On comprendra que la Commission ne soit pas autorisée à conclure cependant que le fait qu'elle a observé doive être considéré comme général. Elle se borne à le signaler aux observateurs comme un objet digne de toute leur attention et de nature à fournir, sur les propriétés de l'air et sur la constitution de l'atmosphère au point de vue de l'hygiène, des notions qui ont échappé jusqu'ici aux recherches dirigées par les procédés eudiométriques connus.

Les quatre ballons à col effilé et contourné restés ouverts n'avaient le 25 juillet éprouvé aucune altération. Pour suivre plus aisément pendant les vacances les changements qu'ils pourraient éprouver, ils furent transportés dans le cabinet de M. Edwards; ils sont tous restés inaltérés jusqu'aujourd'hui, ainsi que l'Académie peut s'en convaincre par l'inspection de ces vases que nous plaçons sous ses yeux.

Il convient de faire remarquer que ces ballons ayant été laissés à l'air libre dans des conditions où la température du jour et de la nuit présentait de notables différences, l'air atmosphérique s'est renouvelé à diverses reprises dans l'intérieur de ces vases sans amener cependant d'altération.

1. Il n'est pas inutile de remarquer que l'époque de l'apparition des organismes dans les ballons en expérience n'est pas toujours facile à bien préciser. Il arrive quelquefois que ces organismes, particulièrement les moisissures, naissent sur les parois mêmes du col des ballons, sous la forme d'un *mycelium* extrêmement grêle. Une observation très attentive faite à la loupe permet seule de les distinguer. Dans ce cas, le liquide de ce ballon peut rester longtemps inaltéré; il ne commence à être [altéré] que lorsqu'une portion du mycelium se détache et tombe.

En admettant que chacun de ces ballons contenait 200 centimètres cubes d'air et que la température de la nuit au jour a varié de 10 degrés pendant l'intervalle de sept mois, ce qui est probable, on peut déduire d'un calcul approximatif qu'il est rentré dans le ballon 1 ½ litre d'air, et que l'atmosphère du vase s'est ainsi renouvelée plus de sept fois dans le cours de l'expérience. Mais cet air, ainsi que celui qui s'introduit dans le ballon quand on interrompt l'ébullition du liquide qu'il renferme, y est entré avec lenteur au lieu d'y pénétrer d'une manière violente, comme cela arrive quand on casse la pointe de ceux où la condensation de la vapeur a produit le vide. Cette lenteur de mouvement a pu laisser déposer dans le tube très étroit et diversement infléchi les matières qui communiquent à l'air pris dans certaines conditions la faculté de développer des êtres vivants.

Pour s'assurer s'il en était réellement ainsi, la Commission a fait l'expérience suivante. L'extrémité de l'un des ballons à col sinueux, conservé depuis trois ans par M. Pasteur, fut fermée à la lampe. Le ballon fut ensuite violemment secoué, de manière que le liquide vînt mouiller quelques-unes des parties contournées du tube. Deux jours après, il s'était manifesté dans le ballon et surtout dans le tube des organismes nombreux ; ce ballon est également sous les yeux de l'Académie.

En résumé, les faits observés par M. Pasteur, et contestés par MM. Pouchet, Joly et Musset, sont de la plus parfaite exactitude.

Des liqueurs fermentescibles peuvent rester, soit au contact de l'air confiné, soit au contact de l'air souvent renouvelé, sans s'altérer, et quand sous l'influence de ce fluide il s'y développe des organismes vivants, ce n'est pas à ses éléments gazeux qu'il faut attribuer ce développement, mais à des particules solides dont on peut le dépouiller par des moyens divers, ainsi que M. Pasteur l'avait affirmé.

Après avoir terminé les expériences relatives à l'eau de levûre employée comme liquide fermentescible, la Commission aurait pu considérer sa mission comme terminée. Cependant elle a voulu aller plus loin, et, quoique privée du concours de MM. Pouchet, Joly et Musset, elle a voulu examiner ce qui se passe avec l'eau de foin, liqueur qui avait été indiquée par ces messieurs comme ayant servi dans leurs expériences, et qui, d'après les recherches récentes de notre savant collègue M. Coste, nous semble mériter un examen particulier.

Des essais préparatoires ont été faits en conséquence par la Commission comparativement avec l'infusion de foin et l'eau de levûre ; mais la saison indiquée comme favorable, ou indispensable même au succès, était déjà passée, et quoique nous eussions observé des faits qui seraient venus confirmer ceux dont il a été rendu compte précédemment, il nous a paru, avant de les exposer avec détail à l'Académie et d'en tirer les conclusions, qu'il était nécessaire de les reproduire dans la saison même qui est réputée la plus favorable par les défenseurs de l'hétérogénie pour le succès de leurs expériences.

La Commission en a donc ajourné au printemps et à l'été prochain l'examen définitif, et elle aura l'honneur d'en soumettre les résultats à l'Académie dans un second Rapport, si elle veut bien l'autoriser à suivre cette marche[1].

1. Les expériences n'ont pas été poursuivies et il ne fut pas publié de second Rapport (*Note de l'Édition.*)

VII. — DES FERMENTATIONS OU DU ROLE DE QUELQUES ÊTRES MICROSCOPIQUES DANS LA NATURE

[*Résumé par M. Danicourt d'une conférence faite par Pasteur aux " Soirées scientifiques de la Sorbonne "*] (1).

L'éminent professeur avait, ce soir-là, choisi pour thème de son enseignement la question des fermentations.

« Tout ce qui vit doit mourir, dit en commençant M. Pasteur, et après la mort, tout se détruit, ou mieux tout se transforme. La vie et la mort sont choses corrélatives. Il faut qu'après la mort toutes les matières constituantes de l'être vivant fassent retour au sol et à l'air atmosphérique.

« Mais comment ces principes des êtres vivants font-ils retour au règne minéral; en d'autres termes, en quoi consiste ce que, dans le langage ordinaire de la science, on appelle des noms de fermentation et de putréfaction ? »

Voilà le problème à résoudre.

Sur le bureau, devant le professeur, au milieu de cet attirail de vases aux formes savamment bizarres qui sont l'accompagnement obligé de toute démonstration chimique, il y a un pot de fleur. Une petite plante parfaitement bien portante et couverte d'une verdure tendre s'y prélasse. Pourquoi est-elle là au milieu de ces ballons de verre et de ces éprouvettes ? Qu'a-t-elle donc de particulier ? Presque rien ! Le vase dans lequel elle est placée a été rempli de sable rendu stérile par la calcination. On a déposé dans ce sable une graine. Cette graine, on l'avait arrosée avec de l'eau distillée, c'est-à-dire ne contenant, non plus que le sable, un atome de matière organique. Et la graine est devenue la jolie plante que vous voyez, et cette plante a grandi, elle a suivi toutes les phases d'un développement régulier. Elle arrivera à produire des graines fécondes. De quoi vit-elle donc ? Eh bien ! elle vit, comme on dit, de l'air du temps. Et maintenant, que prouve ce singulier phénomène ? C'est que le grand réservoir où la vie des végétaux s'alimente, c'est l'atmosphère. C'est que toutes les matières organiques qui entrent dans la composition des végétaux ne sont que des combinaisons des principes élémentaires de l'air atmosphérique, et que, sauf la partie minérale, qui, après la mort, retourne au sol, les tissus des plantes ne contiennent que de l'hydrogène, de l'oxygène, de l'azote et du charbon.

1. *Revue des cours scientifiques*, numéro du 18 février 1865, II, 1864-1865, p. 199-202.

Puis, comme les animaux, qu'ils vivent de plantes ou soient carnivores, ne se nourrissent en définitive que de produits du règne végétal, il en résulte qu'il en est de même des solides et des liquides dont leur corps est formé. « Donc, conclut le professeur, la vie est la mise en œuvre des gaz de l'atmosphère et consiste dans le passage de ces gaz à l'état solide et à l'état liquide.

« Vivre, c'est en quelque sorte soustraire des gaz à l'atmosphère et les organiser en substances solides et liquides. »

Mais s'il en est ainsi, s'il est vrai que l'atmosphère soit la source commune où tous les êtres organisés puisent la vie, comment se fait-il que depuis ces époques si lointaines où la terre était habitée par des races d'animaux et de végétaux gigantesques, jusqu'à l'heure présente, cette source ne soit pas encore tarie, qu'elle ne semble pas près de se tarir encore? C'est qu'elle trouve dans la mort, dans la dissolution qui l'accompagne et qui la suit, un moyen de réparer ses pertes; c'est que tout ce qui a vécu retourne à l'atmosphère!

Comment la nature s'y prend-elle, après avoir transformé les gaz constitutifs de l'air en corps solides et liquides, pour ramener ensuite ces liquides et ces solides à l'état gazeux?

Son procédé, c'est la combustion. — Une combustion lente qui est pour le chimiste exactement le même phénomène que celui qui se produit dans nos foyers, que la combustion vive avec incandescence, avec flamme.

Ainsi, qu'on fasse brûler une tige d'acier dans une éprouvette remplie d'oxygène pur, expérience dont M. Pasteur donne le spectacle à ses auditeurs, ou qu'on laisse se rouiller à l'air humide un morceau de fer, dans les deux cas, le phénomène qui se produit, c'est la combinaison du fer avec l'oxygène.

Ce qui se passe pour le fer se passe tout aussi bien pour les matières organiques.

La seule différence entre le phénomène de la combustion du fer et celui de la combustion de ces matières, c'est que le fer, en se combinant avec l'oxygène de l'air, produit un corps solide plus lourd que lui-même, la rouille, tandis que les matières organiques se dissipent, parce que les produits de la combustion sont des gaz.

Mais y a-t-il des agents qui favorisent et accélèrent cette décomposition des matières organiques, et s'il y en a, quels sont-ils?

M. Pasteur met sous les yeux du public un ballon de verre qui contient du bouillon de ménage. Ce vase, semblable à ceux qui ont servi à ses belles expériences sur les générations spontanées, est terminé par un col allongé, étroit, sinueux, et dont l'ouverture est d'à peu près un millimètre carré.

La matière organique contenue dans ce ballon y a été déposée le 24 juin dernier. Elle y est exposée à l'air libre, et cependant elle est restée parfaitement pure, elle est encore telle que le premier jour. La combustion lente, dans les conditions où se trouve placé le bouillon, ne produit donc qu'une action tout à fait insensible, qu'il faudrait des années pour rendre apparente.

La même substance déposée depuis quelques jours seulement dans un autre vase, qui, sauf la courbure du col, présente tout à fait les mêmes

conditions, est déjà trouble, et si l'on faisait l'analyse de l'air contenu dans ce ballon, on trouverait que tout l'oxygène en a disparu et a été remplacé par une quantité à peu près égale en volume de gaz acide carbonique.

La combustion lente de la matière organique y a donc été très sensible.

D'où vient cette différence entre les deux vases? C'est que les sinuosités du premier n'ont pas permis aux germes répandus dans l'atmosphère d'atteindre le liquide qu'il contient ; tandis que ces germes sont arrivés jusqu'au bouillon du second vase, et, trouvant dans cette substance un milieu favorable, s'y sont développés, et y ont donné naissance à des animalcules infusoires de la plus petite espèce connue.

Du reste, le résultat eût été le même si, au lieu d'infusoires, il se fût développé une moisissure à la surface du liquide.

Que faut-il conclure de ces phénomènes? C'est qu'à la différence du fer, sur lequel la rouille se forme par le seul fait du contact immédiat avec l'air humide, pour que la combustion lente des matières organiques se produise, il faut qu'il y ait un intermédiaire, et que cet intermédiaire, ce sont les infusoires et les moisissures.

M. Pasteur en donne pour exemple deux grappes de raisin. La première est à peu près telle qu'elle a été cueillie. Elle a subi seulement une légère dessiccation, mais elle est parfaitement saine. L'autre est envahie par les moisissures, elle se consume peu à peu. C'est que celle-ci a été laissée à l'air humide, tandis que la première a été maintenue à l'air sec et que les germes des êtres microscopiques qui sont à sa surface n'y ont pas trouvé le degré d'humidité suffisant pour se développer.

Sur un signe de M. Pasteur, l'obscurité est faite dans la salle, et l'image photographiée d'une de ces moisissures, considérablement grossie et éclairée par la lumière électrique, apparaît sur un large écran placé devant le professeur.

La moisissure du raisin est formée d'une tige plus ou moins rameuse, à l'extrémité de laquelle se trouvent des chapelets de petites boules qui ne sont autre chose que les graines de la plante, et qui s'en détachent très facilement pour aller se déposer sur les objets environnants, où il suffira à chacune d'elles de trouver un peu d'humidité pour reproduire une moisissure semblable à la moisissure mère.

« Que fait, dit le professeur, au point de vue chimique, cette végétation microscopique à la surface de la grappe de raisin? Elle fixe, c'est un fait d'expérience, corrélativement à son développement, le gaz oxygène sur tous les principes élémentaires de la matière du raisin, et peu à peu ces principes élémentaires se dissipent dans l'atmosphère... Ce sont les êtres microscopiques qui sont les principes actifs de ce grand résultat. »

La nature n'emploie-t-elle que cette seule voie pour arriver à la désassociation de la matière organique et à sa destruction au contact de l'air? Non, il y en a une autre qui a avec elle beaucoup d'analogie, et qui est peut-être plus intéressante encore : c'est la fermentation proprement dite. Lors de la fermentation du moût de raisin, un phénomène extérieur se produit : c'est un dégagement de gaz si rapide et si abondant, qu'on dirait une véritable ébullition.

En même temps une transformation s'opère dans la masse du liquide. Le

sucre du raisin se dédouble ; au bout de quelques jours, il a disparu complètement et il a été remplacé peu à peu pour moitié de son poids par un liquide nouveau, entièrement inflammable et volatil. L'acide carbonique qui s'est dégagé a emporté l'autre moitié. Quelques centièmes de produits différents se sont formés. Comment s'opère ce dédoublement du sucre ? Il n'y a aucun réactif chimique, aucun procédé de laboratoire qui permette, à l'heure qu'il est, à la science de l'effectuer. On ne connaît qu'un seul moyen de l'obtenir, c'est la fermentation.

La fermentation est un phénomène d'un caractère tout à fait général. Si le degré d'humidité et l'élévation de la température sont suffisants, toute matière organique, quelle qu'elle soit, est fermentescible, à une condition toutefois, c'est qu'elle soit morte ; mais cette condition remplie, dans l'espace de quelques heures, il y aura toujours la fermentation ou la putréfaction.

Ici la science vient encore poser son éternel pourquoi, et se demande quelle est la cause de ce singulier phénomène.

Pour le savoir, il suffit de regarder au microscope une goutte du liquide en fermentation, et l'on reconnaît qu'elle est remplie de petites cellules toutes bourgeonnantes, qui constituent peut-être la forme la plus simple de l'organisation végétale, et dont les bourgeons, quand ils ont acquis à peu près le volume des cellules mères, se détachent et vont bourgeonner pour leur compte un peu plus loin.

Ces petits végétaux sont la cause unique de la fermentation, et ce qui le prouve, c'est que, si l'on s'oppose de façon ou d'autre à leur développement, si, par exemple, on amène le moût du raisin à consistance de sirop, elle n'est plus possible.

« Je puis exprimer ce résultat, dit le savant professeur, en affirmant qu'il n'y a pas une goutte de vin, pas une goutte de bière, pas une goutte de cidre qui n'ait été produite par ce petit végétal. »

Toutefois la science n'a pas encore dit son dernier mot sur ce sujet, elle ne sait trop comment expliquer la transformation si prompte de la matière sucrée ; mais dans ces dernières années on a découvert de petits animalcules infusoires qui ont la singulière propriété de vivre absolument à l'abri du contact de l'air, et que l'air fait périr.

M. Pasteur est convaincu que c'est à ces petits êtres que se rattache tout le système de la fermentation, précisément parce qu'ils peuvent vivre sans air : parce que, étant beaucoup plus avides d'oxygène que tous les autres êtres, ils ne peuvent le supporter quand il est libre, et qu'ils peuvent vivre au contraire dans les matières oxygénées où il n'est pas libre. Mais alors l'oxygène n'étant pas libre, il faut une action vitale pour le soustraire, et de là la cause de la fermentation.

En présence de ce monde des infiniment petits, l'esprit humain voit les problèmes se multiplier devant lui. Mais il y en a un qui prime tous les autres et qui attire tout d'abord l'attention du savant, c'est celui de l'origine de ces petits êtres. D'où viennent-ils ? Comment se forment-ils ? Et l'esprit humain de se donner à lui-même tout d'abord la solution la plus commode de toutes, une solution qui a ce mérite de dispenser de toutes recherches ultérieures. Cela vient tout seul, se dit-on, ce sont des générations spontanées !

Le sujet qu'il traite ramène donc tout naturellement M. Pasteur à l'examen de cette grande question. Mais ne voulant pas rentrer dans une discussion qu'il a soutenue l'année dernière avec tant d'éclat, il se contente d'exposer l'histoire fort intéressante d'un de ces petits êtres dont il avait été pendant longtemps impossible à la science de surprendre le mode de reproduction.

La nielle, cette maladie du blé, est produite par la présence dans les grains malades de petits vers microscopiques, les anguillules.

Ces anguillules, M. Pasteur nous les montre d'abord endormies d'un sommeil léthargique dans le grain de blé desséché où elles sont logées; puis retrouvant la vie lorsqu'un peu d'humidité a été rendue au grain, et s'agitant alors, frétillant avec une vivacité singulière.

Ces anguillules n'ont absolument aucun organe de génération. Il n'y a parmi elles ni mâles, ni femelles. Donc ce sont, a-t-on dit, des générations spontanées.

Eh bien, voici à cet égard la vérité. Que parmi les grains de blé confiés par le laboureur aux sillons, il s'en trouve un qui soit niellé, ce grain s'imprégnera de l'humidité du sol, et tandis que cette humidité apportera la vie aux grains bien portants, les fera germer, se développer, le grain niellé, au contraire, se pourrira. L'humidité pénétrera jusqu'aux anguillules. Alors se réveillant de leur long sommeil, elles ressusciteront, pour ainsi dire, et perforant l'enveloppe pourrie qui les enferme, elles iront chercher les grains bien portants, y pénétreront, et s'établissant dans l'intervalle des feuilles naissantes, suivront peu à peu tout le mouvement de la jeune plante.

Elles arriveront ainsi aux feuilles qui renferment le jeune épi, et finiront par pénétrer dans ses grains encore mous et laiteux.

Une fois là, elles deviennent adultes; les unes prennent des organes de génération mâles, d'autres des organes femelles.

Les femelles, fécondées par les mâles, pondent des œufs.

De chacun de ces œufs sort une petite anguillule. Le père et la mère alors périssent; les débris de leur corps se résorbent entièrement, et quand l'épi niellé est mûr, il n'y a plus dans le grain que les petites anguillules dont nous parlions tout à l'heure, et qui demeurent sans mouvement si l'épi est sec. Vous voyez qu'il n'y a plus de difficultés d'origine pour ces anguillules. Ce sont des jeunes qui n'ont pas encore d'organes de génération visibles, qui ne les ont qu'en puissance.

Après cette courte excursion sur le domaine des générations spontanées, le professeur revient à la question qui fait l'objet principal de sa conférence et à l'examen du cas particulier qu'il a choisi pour sujet de ses démonstrations. Après avoir montré comment, par suite de la fermentation du moût de raisin, le sucre qu'il contenait a disparu, comment de l'acide carbonique s'est produit et de l'alcool s'est formé dans la masse du liquide, il se demande si la série de phénomènes successifs qui ont pour but la désagrégation de la matière, la restitution des éléments qui la composent à la source commune, est décidément terminée. Il n'en est rien. Après que la fermentation s'est arrêtée, de nouveaux phénomènes se produisent. La fleur du vin, la fleur du vinaigre apparaissent à la surface du liquide.

Ce sont des végétations analogues à celles dont il a déjà été question tout à l'heure.

M. Pasteur met sous les yeux du public les images agrandies de ces moisissures, qui sont fort belles. Leur action, en fixant sur le liquide l'oxygène de l'air, a pour résultat de transformer l'alcool ; la fleur du vin en fait immédiatement de l'eau et de l'acide carbonique ; celle du vinaigre le change d'abord en acide acétique.

Mais le vinaigre est encore une matière organique, et si le cercle des transformations s'arrêtait là, il ne serait pas complet. Ces petits êtres microscopiques peuvent continuer leur action comburante, et alors peu à peu tout le charbon et tout l'hydrogène du vinaigre passent à l'état d'acide carbonique et de vapeur d'eau, et la matière organique tout entière finit par se détruire et par faire retour à l'atmosphère.

La conclusion de cette étude, c'est donc que la vie ne saurait exister sur la terre, s'il n'y avait pas en même temps, non seulement la mort, mais la dissolution, qui en est la conséquence ; c'est que des êtres immortels auraient bientôt épuisé cette source de toute existence, qui est l'air dont nous sommes environnés ; c'est que ces infiniment petits, qui ne s'offraient, il y a quelques années encore, aux regards du savant que comme une preuve curieuse de l'exubérante fécondité de la nature, jouent au contraire un rôle immense dans l'univers, et que la disparition des espèces microscopiques entraînerait toutes les autres dans une ruine commune.

C'est là ce que la chimie moderne a découvert, et ce sera son éternel honneur.

VIII. — RAPPORT FAIT, AU NOM DE LA SECTION DES CULTURES SPÉCIALES, PAR M. PASTEUR, SUR L'ENSEMBLE DES TRAVAUX DE M. GAYON (1)

Messieurs,

Votre Section des cultures spéciales vous propose de décerner à l'ensemble des travaux de M. Gayon, professeur à la Faculté des sciences de Bordeaux, votre grande médaille d'or.

En 1875, au début de sa carrière scientifique, M. Gayon (2) a démontré par des preuves irrécusables que l'altération des œufs de poules et d'oiseaux, en général, était corrélative de la vie et de la multiplication d'êtres infiniment petits. Un œuf de poule abandonné à lui-même ne tombe pas toujours en putréfaction; M. Gayon a établi que toutes les fois que l'œuf pourrit, c'est par la présence de bactéries et de vibrions, et, par des observations multipliées, il a rendu plus que vraisemblable que les germes de ces microbes provenaient de l'oviducte de la poule, dont l'orifice extérieur communique librement avec l'air atmosphérique. Ils pénètrent dans l'œuf pendant la sécrétion de l'albumine et des membranes coquillières.

Ces faits sont utiles à connaître pour les personnes qui cherchent à conserver industriellement les œufs.

M. Gayon s'est livré ensuite aux expériences les plus intéressantes sur la fermentation des matières sucrées par l'action de diverses moisissures (3). Il a rencontré dans ces études un fait très nouveau et du plus grand intérêt physiologique. On savait depuis longtemps que le sucre de canne, avant de fermenter, doit se transformer en sucre interverti ou sucre de fruits incristallisable; en outre, que cette modification dans la nature du sucre est provoquée par une substance soluble que fournissent les cellules de la levûre de bière. Beaucoup de moisissures vulgaires ont la propriété de sécréter

1. *Mémoires de la Société nationale d'agriculture de France*, CXXIX, 1884, p. 69-72.

2. GAYON. Recherches sur les altérations spontanées des œufs. (Thèse pour le doctorat ès sciences physiques.) *Paris*, 1875, 102 p. in-4° (1 pl.).

3. GAYON. Sur l'inversion et sur la fermentation alcoolique du sucre de canne par les moisissures. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXVI, 1878, p. 52-54. — Sur la constitution du glucose inactif des sucres bruts de canne et des mélasses. *Ibid.*, LXXXVII, 1878, p. 407-408. (*Notes de l'Édition.*)

une substance analogue, peut-être même identique à celle que sécrète la levûre. En conséquence elles ont, comme la levûre, la propriété de transformer le sucre de canne en sucre incristallisable, tout prêt à éprouver la fermentation alcoolique.

M. Gayon, dans un travail remarquable, a reconnu l'existence de moisissures capables de provoquer la fermentation alcoolique des sucres incristallisables et des glucoses, mais tout à fait impropres à transformer le sucre de canne en sucre incristallisable. Le mycelium des moisissures dont il s'agit, tout aussi bien que les cellules de la levûre spéciale auxquelles ces myceliums peuvent donner naissance, quand l'oxygène de l'air leur fait défaut, ne sécrètent aucune substance soluble capable d'intervertir le sucre cristallisable. Ce sont là, je le répète, des faits d'un haut intérêt physiologique. M. Gayon n'a pas oublié de faire remarquer que la pratique pouvait trouver ici l'occasion d'une application qui, mieux étudiée dans ses conditions économiques, pourrait servir un jour l'industrie sucrière. Il a montré qu'il était facile de séparer, par le fonctionnement physiologique des moisissures dont nous venons de parler, les glucoses incristallisables du sucre de canne ou de betterave proprement dit. En faisant agir le *mucor circinelloides* sur une solution de sucre cristallisable et de glucose, le glucose fermente et le sucre cristallisable reste intact. Après la distillation du liquide qui permet de recueillir l'alcool correspondant à la fermentation du glucose, le sucre cristallisable se trouve isolé et séparé du produit qui nuisait le plus à sa cristallisation.

Sans m'arrêter à plusieurs autres travaux de M. Gayon où l'on retrouve encore la même délicatesse d'observation, je passe à ceux qui l'occupent depuis ces dernières années et qui jettent une lumière nouvelle sur certains phénomènes plus particulièrement du ressort agricole.

M. Gayon, en collaboration avec un de ses élèves, M. Dupetit (1), a reconnu que les nitrates, contenus dans le sol et dans les eaux, se décomposent sous l'influence de microbes anaérobies. Suivant la nature de l'agent réducteur, la décomposition s'arrête à la formation de nitrites ou bien elle va jusqu'aux bioxyde et protoxyde d'azote, ou même elle peut aller jusqu'à la décomposition complète, c'est-à-dire au dégagement du gaz azote. Ces expériences expliquent la disparition des nitrates dans les sols peu aérés et la présence des nitrites dans les eaux d'égouts et dans les eaux de drainage.

Présentement, M. Gayon se livre à des recherches qui n'ont pas moins d'intérêt que toutes celles dont je viens de parler. Elles s'appliquent à la fermentation des fumiers (2). M. Gayon démontre que les fumiers de cheval ou de vache, pris à l'état frais et soustraits à l'action comburante de l'air, donnent lieu à un abondant dégagement de gaz, formé d'un mélange d'acide carbonique et de protocarbure d'hydrogène. La proportion de ce dernier gaz peut atteindre 100 litres par jour par mètre cube de fumier, de telle sorte que cette fermentation pourrait, à la rigueur, devenir une source de gaz utilisable au chauffage ou à l'éclairage. Quant à la cause du phéno-

1. GAYON et DUPETIT. Sur la transformation des nitrates en nitrites. *Ibid.*, XCV, 1882, p. 1365.

2. GAYON. Recherches sur la fermentation du fumier. *Ibid.*, XCVIII, 1884, p. 528. (*Notes de l'Édition.*)

mène, elle est due à un microbe très ténu, anaérobie et cultivable dans des liquides appropriés.

Votre Section des cultures spéciales a pensé que M. Gayon, par tous ces travaux marqués au coin de la plus fine analyse et par leur tendance à éclairer beaucoup de phénomènes agricoles d'une grande importance méritait votre première médaille d'or. C'est la récompense qu'elle a l'honneur de vous proposer en faveur de l'ensemble des travaux de cet habile observateur.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME II

Paris. — L. Maretheux, imprimeur, 1, rue Cassette.

ŒUVRES

DE

PASTEUR

TOME II

FERMENTATIONS
ET GÉNÉRATIONS DITES SPONTANÉES

MASSON & Cie EDITEURS. PARIS



Prix : 65 fr. net